

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

ANALÝZA A HODNOCENÍ RIZIK PŘI VÝSTAVBĚ STÍNÍCÍCH  
KONSTRUKCÍ LÉKAŘSKÝCH OZAŘOVAČŮ.

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. IVETA HENZELOVÁ

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

## ANALÝZA A HODNOCENÍ RIZIK PŘI VÝSTAVBĚ STÍNÍCÍCH KONSTRUKCÍ LÉKAŘSKÝCH OZAŘOVAČŮ.

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF RISKS IN THE CONSTRUCTION OF THE SHIELDING  
STRUCTURES OF MEDICAL IRRADIATORS.

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. IVETA HENZELOVÁ

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. LEONARD HOBST, CSc.

BRNO 2015

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Iveta Henzelová

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Řízení rizik stavebních konstrukcí (3901T044)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

**Analýza a hodnocení rizik při výstavbě stínících konstrukcí lékařských ozařovačů.**

v anglickém jazyce:

**Analysis and assessment of risks in the construction of the shielding structures of medical irradiators.**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se zabývá analýzou a hodnocením možných rizik při návrhu a realizaci stínících konstrukcí proti účinkům ionizujícího záření. Při řešení se bude vycházet z platného znění Atomového zákona a navazujících vyhlášek.

Cíle diplomové práce:

Cílem DP bude analyzovat a posoudit kvalitativní, environmentální a bezpečnostní rizika při výstavbě stínících konstrukcí lékařských ozařovačů a zpracovat jednoduché nástroje pro jejich řízení a eliminaci.

Seznam odborné literatury:

- TICHÝ, M.: Ovládání rizika, Praha, 2006, 80-7179-415-5.  
CSN EN 31010: 2011. Management rizik – Techniky posuzování rizik. Praha: ÚNMZ, 2011.  
MORAVCOVÁ, B. Analýza a hodnocení rizik technologií výstavby stavebních konstrukcí v prostředí integrovaného systému řízení. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2013.  
ZÁKON č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon), novelizován zákonem č. 13/2002 Sb.  
HOBST, CSc., Doc.Ing. Leonard. Optimalizace stavebních ochran zdrojů ionizačních záření. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav radiační defektoskopie, listopad 1999.

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 24. 10. 2014



doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.  
ředitel vysokoškolského ústavu

### ***Abstrakt***

Diplomová práce se zabývá analýzou a hodnocením možných rizik při návrhu a realizaci stínících konstrukcí proti účinkům ionizujícího záření. Postupem výpočtu a návrh optimalizace dle platného znění atomového zákona a navazujících vyhlášek je zmíněn jen okrajově. Dle normy ČSN EN 31010:2011 Management rizik - Techniky posuzování rizik byla provedena analýza rizik. Pro řízení rizik jsou zvoleny tyto metody - analýza příčin a důsledků (Ishikawův diagram), analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA) a Paretův diagram. Za pomoci těchto metod jsou identifikována a ohodnocena zjištěná rizika. Na základě identifikace a hodnocení rizik jsou navržena příslušná opatření pro snížení jejich hodnot.

### ***Klíčová slova***

analýza, hodnocení, riziko, nebezpečí, stínění, ozařovače, lékařství, atomový zákon, záření, FMEA

### ***Abstract***

The thesis focuses on the analysis and evaluation of the potential risks in the design and implementation of shielding structures against the effects of ionizing radiation. The procedure of calculation and design optimization, according to the current wording of the Atomic Act and related regulations, is mentioned only marginally. According to DIN EN 31010: 2011 Risk Management - Risk Assessment Technique risk assessment were made by risk analysis. Risk management identified these methods - Analysis of the Causes and Consequences (Ishikawa diagram), Analysis Failure Mode and Effects (FMEA) and the Pareto diagram. These methods are implemented to identify and evaluate the associated risks. Based on the identification and assessment of these risks, appropriate measures are then proposed to reduce their impact.

### ***Keywords***

analysis, assessment, risk, hazard, shielding, irradiators, medical, nuclear law, radiation, FMEA

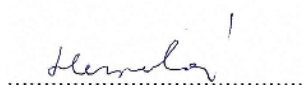
***Bibliografická citace***

HENZELOVÁ, I. *Analýza a hodnocení rizik při výstavbě stínících konstrukcí lékařských ozařovačů..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2015. 67 s.  
Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Leonard Hobst, CSc..

***Prohlášení***

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 20. 5. 2015

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Henzelová', is written over a horizontal dotted line.

Bc. Iveta Henzelová

### ***Poděkování***

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Leonardu Hobstovi, CSc. za pomoc a rady při zpracovávání diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat rodině za podporu, především tedy svým rodičům. Jsou to právě oni, kdo mi umožnil studium na vysoké škole, kde jsme se mohla vzdělávat a rozvíjet. V neposlední řadě patří mé díky Silvii za její podporou, trpělivost a motivaci.



## OBSAH

1. LEGISLATIVA (ÚČEL, DEFINICE, POJMY).....	5
1.1. Atomový zákon .....	5
1.2. Platné prováděcí právní předpisy zákona - související vyhlášky (dle SÚJB 2011) .....	6
1.3. Definice základních pojmů.....	8
1.3.1. Pojmy ze zdravotnického prostředí .....	8
1.3.2. Pojmy a definice uvedené v ČSN ISO 31000:2010 [4]:.....	9
1.4. Zdroje ionizujícího záření využívané ve zdravotnictví .....	11
1.4.1. Zdroje ionizujícího záření používané na radioterapeutických odděleních.....	11
1.4.1.1. Kobaltové a cesiové ozařovače .....	11
1.4.1.2. Leksellův gama nůž .....	12
1.4.1.3. Urychlovače částic .....	12
1.4.1.4. Brachyterapie .....	13
1.4.2. Zdroje ionizujícího záření používané na radiologických odděleních.....	14
1.4.2.1. Rentgenka.....	14
1.4.2.2. Skiografie .....	15
1.4.2.3. Skioskopie .....	15
1.4.2.4. Zubní rentgeny .....	16
1.4.2.5. Výpočetní tomografie .....	17
1.4.3. Zdroje ionizujícího záření používané na odděleních nukleární medicíny .....	18
1.4.3.1. Planární scintigrafie .....	19
1.4.3.2. Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT) .....	20
1.4.3.3. Pozitronová emisní tomografie (PET) .....	20
1.4.3.4. PET/CT .....	21
1.5. Principy radiační ochrany .....	22

1.6. Klasifikace ZIZ.....	24
1.7. Klasifikace pracovišť .....	25
2. USMĚŘŇOVÁNÍ LÉKAŘSKÉHO OZAŘOVÁNÍ .....	26
2.1. Zásady a optimalizace stínění (obecně).....	31
2.1.1. Životnost stínících konstrukcí (morální a fyzická).....	33
2.1.2. Materiály používané pro stínění.....	34
2.2. Zásady a optimalizace stínění (konkrétní pracoviště) .....	35
2.2.1. Radioterapeutické pracoviště s lineárními urychlovači .....	35
2.2.2. Gamaterapeutické pracoviště.....	36
2.2.3. Rentgenodiagnostické a rentgenoterapeutické pracoviště .....	36
3. MANAGEMENT RIZIK .....	37
3.1. Riziko, nebezpečí, zdroj nebezpečí .....	37
3.1.1. Riziko .....	37
3.1.2. Nebezpečí.....	38
3.1.3. Zdroj nebezpečí .....	38
3.2. Proces řízení (managementu) rizik .....	39
3.3. Metody analýzy rizik .....	43
3.3.1. Analýza příčin a následků, Ishikawa diagram (Case and effect analysis).....	43
3.3.2. Analýza možností vzniku vad a jejich následků FMEA .....	44
3.3.3. Paretův diagram.....	45
4. APLIKACE RIZIKOVÝCH ANALÝZ .....	46
4.1. Shrnutí problematiky .....	46
4.2. Ishikawa diagram.....	47-51
4.3. FMEA .....	52
4.4. Paretův diagram.....	57-59

5. ZÁVĚR A HODNOCENÍ .....	60
6. LITERATURA .....	62
4.5. Publikace .....	62
4.6. Zákony, vyhlášky a jiné předpisy .....	62
4.7. Normy .....	63
4.8. Internetové odkazy .....	63
7. SEZNAMY .....	65
5.1. Seznam obrázků.....	65
5.2. Seznam tabulek.....	66
5.3. Seznam diagramů .....	66
5.4. Seznam zkratk.....	66

## ÚVOD

Cílem diplomové práce je analyzovat a posoudit kvalitativní, environmentální a bezpečnostní rizika při výstavbě stínících konstrukcí lékařských ozařovačů a zpracovat jednoduché nástroje pro jejich řízení a eliminaci.

Diplomová práce je rozdělena do několika sekcí, především se však bude jednat o rozdělení na dvě části: teoretickou a praktickou.

V první kapitole se budeme zabývat popisem základních pojmů z oblasti historie radiologie, lékařských ozařovačů, jejich členění a představení.

Ve druhé kapitole se začneme věnovat usměrňování lékařského ozařování. V této kapitole bude také okrajově zmíněno jakým způsobem se provádí výpočet pro návrh stínících konstrukcí lékařských ozařovačů a také jejich optimalizace.

Kapitola třetí se zabývá vysvětlením principu řízení neboli managementu rizik, vysvětlení základních pojmů, definic a nastínění způsobu využití těchto metod. Metod pro kvalifikaci rizika existuje několik desítek, proto výběr těch nejpodstatnějších nebude zcela jednoduchý. Důležitější bude však výběr těch, jež by měly být použity pro konečné posouzení zdrojů rizik při výstavbě stínících zařízení.

Dostáváme se k druhé, tedy praktické části, které se budeme věnovat ve čtvrté kapitole. Zde bude provedena analýza a vyhodnocení rizik společně se stanovením nástrojů pro jejich eliminaci a navržena opatření pro jejich řízení.

V závěru provedeme vyhodnocení a shrnutí poznatků získaných touto analýzou.

## **1. LEGISLATIVA (ÚČEL, DEFINICE, POJMY)**

V roce 1895 německý fyzik W. K. Röntgen při svých pokusech objevil tzv. záření X (později rentgenového záření). Jednalo se o na tehdejší dobu podivuhodné vlastnosti dosud neznámého záření. Od té doby se výzkum nezastavil. Po celém světě probíhá neustálý technický a technologický vývoj, rozšiřující tento významný objev a postupný výzkum působení záření na lidský organismus.

Dokud ještě nebyly známy negativní účinky záření na lidský organismus a výsledkem byly čarovné obrázky lidského těla, dochází následně postupně ruku v ruce s dosaženým stupněm poznání k důležitému a zároveň nutnému zmenšování zdravotních rizik při využívání záření v medicíně.

K takto rychlému zlepšení poměru záporného účinku (radiační zátěž zdravotnického personálu, pacienta a ostatních osob) a kladného účinku (dokonalý diagnostický obraz) přispěl především vývoj technických a technologických prostředků. Od druhé poloviny 20. století přispívá velkou měrou geneze legislativy, která má za cíl, přiměřeně své době, minimalizovat negativní účinky záření na personál a pacienta a zajistit tak bezpečný, ale zároveň kvalitní provoz radiodiagnostických pracovišť.

V roce 1997 nastává velký zlom právě v České Republice tím, že byl schválen tzv. „Atomový zákon“ a postupem času dochází k dalším legislativním změnám, doplňkům a novelizacím tohoto zákona. [1]

### **1.1. Atomový zákon**

Právní normou, upravující podmínky vykonávání činností vedoucích k ozáření a způsob využívání ionizujícího záření, tj. vystavení osob a životního prostředí ionizujícímu záření, je zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (Atomový zákon), ve znění pozdějších předpisů. Zákon upravuje také systém ochrany osob a životního prostředí před nežádoucími účinky ionizujícího záření. Ochrana před ionizujícím zářením vychází z poznatků o biologických účincích IZ a jejich vlivu na zdraví člověka.

Vzhledem k vysoké míře pravděpodobnosti negativních účinků ionizujícího záření je nezbytné dozorovat činnosti se zdroji ionizujícího záření. Atomový zákon také dozoruje při činnostech vedoucích k ozáření, využívání jaderné energie a nad jadernými položkami. Státní úřad pro jadernou bezpečnost prostřednictvím inspektorů radiační ochrany a jaderné bezpečnosti zajišťuje správu a dozor při využívání ionizujícího záření.

## **1.2. Platné prováděcí právní předpisy zákona - související vyhlášky (dle SÚJB 2011)**

Povinností každého, kdo je držitelem povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření je řídit se ustanoveními zákona a jeho prováděcími předpisy. Jedná se především o tyto související vyhlášky:

- Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění č. 499/2005 Sb. upravuje podrobnosti ke způsobu a rozsahu zajištění radiační ochrany při práci na pracovištích, kde se vykonávají radiační činnosti, včetně podrobností pro vymezování, označování a oznamování nebo schvalování sledovaných nebo kontrolovaných pásem na těchto pracovištích: *Příloha č. 1: Zprošťovací úrovně; Příloha č. 2: Uvolňovací úrovně; Příloha č. 3: Konverzní faktory; Příloha č. 4: Podklady ke kategorizaci prací a pracovišť s otevřenými zářiči; Příloha č. 5: Podklady ke stanovování veličin RO; Příloha č. 6: Podmínky pro řádné a kvalifikované provádění zkoušek v oblasti RO; Příloha č. 7: Požadavky na rozsah ZDS URZ; Příloha č. 8: Směrné hodnoty zásahových úrovní pro případ radiační mimořádné situace; Příloha č. 9: Diagnostické referenční úrovně; Příloha č. 12: Registrační karta generátoru záření; Příloha č. 13: Údaje oznamované podle § 80 odst. 5; Příloha č. 14: Vysokoaktivní zářiče; Příloha č. 15: Podmínky pro řádné a kvalifikované vykonávání služeb významných z hlediska RO* [2];
- Vyhláška č. 317/2002 Sb. Vyhláška o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování a ukládání jaderných materiálů a radioaktivních látek, o typovém schvalování zdrojů ionizujícího záření a o přepravě jaderných materiálů a určených radioaktivních látek (o typovém schvalování a přepravě), ve znění vyhl. č. 77/2009 Sb. [3]
- Vyhláška č. 318/2002 Sb. Vyhláška o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu, ve znění vyhl. č. 2/2004 Sb. [3]
- Vyhláška č. 419/2002 Sb. o osobních radiačních průkazech [2]
- Vyhláška č. 185/2003 Sb. o vyřazování jaderného zařízení nebo pracoviště III. nebo IV. kategorie z provozu [2]
- Vyhláška č. 193/2005 Sb. o stanovení seznamu teoretických a praktických oblastí, které tvoří obsah vzdělávání a přípravy vyžadovaných v České republice pro výkon regulovaných činností náležejících působnosti SÚJB [2]

- 
- Vyhláška č. 144/1997 Sb. o fyzické ochraně jaderných materiálů a jaderných zařízení a o jejich zařazování do jednotlivých kategorií [3]
  
  - Vyhláška č. 146/1997 Sb., kterou se stanoví činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraným pracovníkům a způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků [2]
  
  - Vyhláška č. 132/2008 Sb. Vyhláška o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd (nahrazuje vyhlášku č. 214/1997 Sb.) [2]
  
  - Vyhláška č. 317/2002 Sb. Vyhláška o typovém schvalování obalových souborů pro přepravu, skladování a ukládání jaderných materiálů a radioaktivních látek, o typovém schvalování zdrojů ionizujícího záření a o přepravě jaderných materiálů a určených radioaktivních látek (o typovém schvalování a přepravě), ve znění vyhl. č. 77/2009 Sb. [2]
  
  - Vyhláška č. 318/2002 Sb. Vyhláška o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu, ve znění vyhl. č. 2/2004 Sb. [2]

### **1.3. Definice základních pojmů**

#### **1.3.1. Pojmy ze zdravotnického prostředí**

Pracovní místo je část pracoviště jednoznačně charakterizovaná svými ochrannými (izolačními, ventilačními a stínícími) vlastnostmi, vymezená prostorově nebo technologicky (pracovní stůl, aplikační nebo vyšetřovací box, digestoř, hermetizovaná podtlaková skříň ap.), kde mohou být prováděny samostatné práce se ZIZ; v jedné místnosti může být více pracovních míst, pokud každé tvoří z hlediska organizace práce samostatný celek.

Diagnostická referenční úroveň je směrná hodnota pro ozáření v lékařské radiodiagnostice.

Aplikující odborník je lékař, zubní lékař nebo jiný zdravotnický pracovník, který v rozsahu své kvalifikace dané zvláštními právními předpisy má klinickou odpovědnost za lékařské ozáření.

Lékařské ozáření je ozáření, které je nutné pro zjištění zdravotního stavu pacienta.

*Vyšetření na radiodiagnostickém pracovišti se provádí na základě rozhodnutí lékaře po prozkoumání zdravotního stavu pacienta, lékař zodpovídá za správnou indikaci. Při rozhodování o vyšetření na radiodiagnostice lékař zvažuje možnost jiných dostupných diagnostických metod (ultrazvuk, magnetická rezonance).*

Generátor záření je zařízení nebo přístroj vysílající ionizující záření, jehož součástí pracují při rozdílu potenciálu vyšším než 5 kV, zejména rentgenová zařízení a urychlovače částic.

Kontrolované pásmo (dále KP) jsou prostory s regulovaným přístupem, ve kterých jsou zavedena zvláštní pravidla pro zajištění radiační ochrany nebo k zabránění rozšíření radioaktivní kontaminace.

Monitorování je cílené měření veličin charakterizujících ozáření, pole záření nebo radionuklidy a hodnocení výsledků těchto měření pro účely usměrňování ozáření.

Ionizace je změna, kdy z elektricky neutrálních atomů vytváříme kladné ionty a volné elektrony. Zároveň je to počáteční fyzikální proces, který prostřednictvím navazujících fyzikálních, chemických a biologických dějů může vést k negativním zdravotním důsledkům.

Zdroj ionizujícího záření (dále ZIZ) je zařízení, přístroj nebo látka, které mohou vysílat ionizující záření nebo uvolňovat radioaktivní látky.



Ionizující záření (dále IZ) je takové, které je schopno přímo nebo nepřímo ionizovat hmotné prostředí, čili podél své dráhy odtrhávat elektrony z elektronového obalu atomu či molekuly.

Radiologické zařízení je zdravotnický prostředek používaný k vyšetřování nebo léčbě v nukleární medicíně, radioterapii nebo radiodiagnostice, který je zároveň ZIZ nebo který může ovlivnit ozáření pacientů nebo jiných osob podstupujících lékařské ozáření.

Radiační činnost je činnost s umělými ZIZ, při nichž se může zvýšit ozáření fyzických osob.

Radiologické postupy jsou jakékoli postupy týkající se lékařského ozáření v nukleární medicíně, radioterapii nebo radiodiagnostice.

Radiační ochrana (dále RO) je systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí.

Referenční hodnota je hodnota parametru, popř. střední hodnota z hodnot získaných v řadách výchozích testů.

Sledované pásmo (dále SP) jsou prostory, které podléhají soustavnému dohledu pro účely zajištění radiační ochrany.

Referenční úroveň je ukazatel nebo kritérium, při jehož překročení nebo nesplnění se provádí opatření v radiační ochraně; prováděcí právní předpis stanoví podrobnosti k určování referenčních úrovní a opatření v důsledku jejich překročení.

Osobní dávky je souhrnné označení pro charakterizující míru zevního i vnitřního ozáření jednotlivé osoby, zejména efektivní dávku, úvazek efektivní dávky a ekvivalentní dávky v jednotlivých orgánech nebo tkáních; osobní dávky se měří osobními dozimetry.

### **1.3.2. Pojmy a definice uvedé v ČSN ISO 31000:2010 [4]:**

riziko je účinek nejistoty na dosažení cílů

management rizik koordinované činnosti pro vedení a řízení organizace s ohledem na rizika

vlastník rizika osoba nebo entita s odpovědností a pravomocí řídit riziko

plán managementu rizik schéma v rámci managementu rizik specifikující přístup, dílčí části managementu a zdroje, které se mají použít k managementu rizik

událost výskyt nebo změna určité množiny okolností

proces managementu rizik systematické uplatňování manažerské politiky, postupů a zavedené praxe u činností sdělování, konzultování, stanovení kontextu, a zjišťování, analyzování, hodnocení, ošetřování, monitorování a přezkoumávání rizik

stanovení kontextu vymezení vnějších a vnitřních parametrů, které mají být zohledněny při managementu rizik a nastavení rozsahu platnosti a kritérií rizik pro politiku managementu rizik

komunikace a konzultace nepřetržité a opakující se procesy, které vykonává organizace k poskytování, sdílení nebo získávání informací a zapojení se do dialogu se zainteresovanými stranami ve věci managementu rizik

posuzování rizik celkový proces identifikace rizik, analýzy rizik a hodnocení rizik

identifikace rizik proces hledání, rozpoznávání a popisování rizik

zdroj rizika prvek, který sám nebo v kombinaci s jinými prvky má vnitřní potenciální schopnost způsobit riziko

následek výsledek události působící na cíle

zainteresovaná strana osoba nebo organizace, která může mít vliv na rozhodnutí nebo činnost, může být jimi ovlivňována nebo se může vnímat, že je rozhodnutím nebo činností ovlivněna

možnost výskytu, pravděpodobná možnost (výskytu) možnost, že něco nastane

analýza rizik proces pochopení povahy rizika a stanovení úrovně rizika

zainteresovaná strana osoba či organizace, jež může mít vliv na rozhodnutí nebo činnost, může být jimi ovlivňována x může vnímat, že je rozhodnutím nebo činností ovlivněna

úroveň rizika, stupeň rizika velikost rizika vyjádřena jako kombinace následků a jejich možnosti výskytu

hodnocení rizik proces porovnání výsledků analýzy rizik s kritérii rizik k určení, zda riziko a/nebo jeho velikost je přijatelné nebo tolerovatelné

ošetření rizika proces pro modifikování (změnu) rizika

opatření, řízení prostředek řízení, který modifikuje riziko

monitorování nepřetržitá kontrola, dozor, kritické pozorování nebo určování stavu pro identifikování změny k dosažení stanovených cílů

## **1.4. Zdroje ionizujícího záření využívané ve zdravotnictví**

S podílem 11 % na ozáření obyvatelstva (mimo přírodní ozáření) je ozáření lidí léčených či vyšetřovaných pomocí zdrojů ionizujícího záření zcela jistě nejvyšším ozářením. Ve vybraných zemích je toto ozáření tím jediným, jež je způsobeno umělými zdroji. U jednotlivých obyvatel se dávky z lékařské expozice významně liší, od nulových hodnot až po tisícinásobně převyšující dávky z normálního přírodního pozadí. V důsledku vysokého podílu na radiační zátěži obyvatelstva se uvažuje o zavedení registru dávek lékařského ozáření. [5]

### **1.4.1. Zdroje ionizujícího záření používané na radioterapeutických odděleních**

Zdroje ionizujícího záření na radioterapeutických odděleních jsou používány na brachyterapii ale také na zevní ozáření. Zařízení, jež produkují fotonové záření o vysoké energii se používají především k zevní ozáření. Těmito přístroji mohou být urychlovače částic nebo cesiové a kobaltové ozařovače. Mezi radionuklidové zdroje je zařazen taktéž Leksellův gama nůž. Při brachyterapii se v dnešní době pro aplikaci záření používají automatické afterloadingové přístroje. [5]

#### **1.4.1.1. Kobaltové a cesiové ozařovače**

*„Kobaltové a cesiové ozařovače jsou zdrojem záření gama. **Kobalt**  $^{60}\text{Co}$  má fyzikální poločas přeměny 5,29 roku. Emituje záření gama o 2 energiích, které jsou velmi pronikavé.  $^{60}\text{Co}$  bývá uzavřen ve formě plochých kroužků anebo drobných válečků v hliníkovém nebo ocelovém kontejneru. Ochranná hlavice má tvar koule o průměru až 60 cm. Je z olova a uvnitř je jádro z wolframové slitiny nebo uranu (mají vyšší absorpci než olovo). Hlavice má kanálový otvor, z něhož vystupuje primární svazek záření  $\gamma$ . Jeho fyzikální poločas přeměny je dokonce 30,07 roku. Díky relativně dlouhým fyzikálním poločasům klesá intenzita záření  $\gamma$  produkovaného těmito ozařovači s časem velmi pozvolně.“ [5]*



Obrázek 1 Kobaltový ozařovač [5]

1.4.1.2. Leksellův gama nůž

„V případě Leksellova nože je polosféricky umístěno 201 zdrojů záření gama izotopu **kobaltu**  $^{60}\text{Co}$ , přičemž svazky paprsků z těchto zdrojů jsou usměrněny kolimátory tak, že se protínají ve společném ohnisku uvnitř polosférického prostoru. Zatímco dávka záření jednotlivého svazku paprsků je relativně malá, v ohnisku, kde se dávky protínají, se tyto dávky sčítají. Dávka v ohnisku je proto vysoká a vyvolává v živé tkáni biologickou odpověď, dávka vyvolaná jednotlivým paprskem signifikantní odpověď nevyvolá. Dávkový gradient mimo ohnisko, ve kterém se svazky protínají, v rozmezí několika milimetrů do okolí prudce klesá. Pokud do ohniska umístíme cíl, který chceme při funkční stereotaktické operaci postihnout, vytvoříme při vhodné dávce ostře ohraničenou malou nekrotickou lézi, přičemž okolní tkáň je šetřena.“ [5]



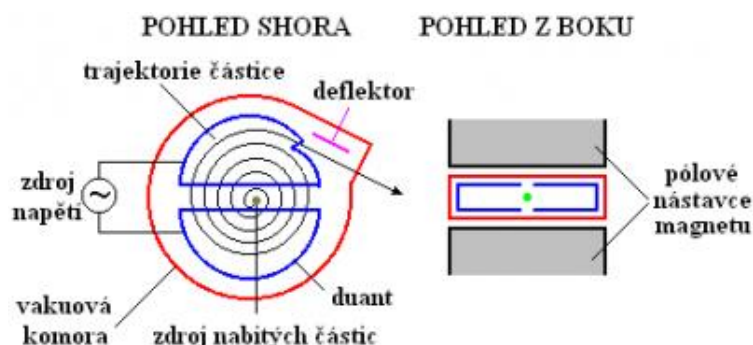
Obrázek 2 Leksellův gama nůž [5]

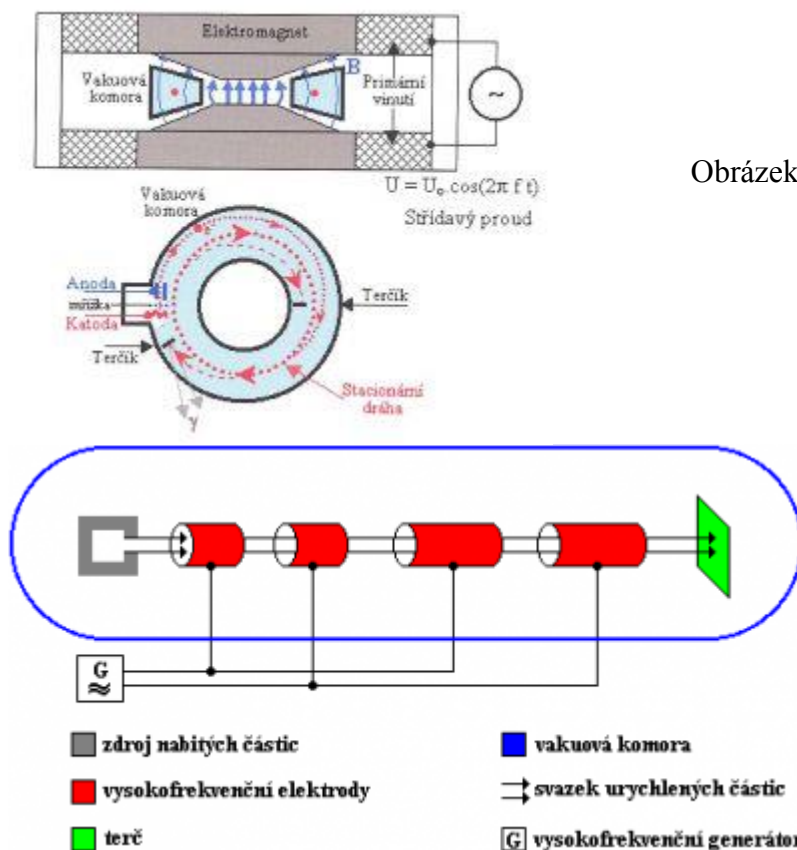
1.4.1.3. Urychlovače částic

Urychlovače částic jsou přístroje, jež umožňují umělé zrychlování elektricky nabitých elementárních částic nebo iontů, které tak získávají vysokou kinetickou energii. Urychlené částice se využívají k produkci pronikavého brzdného záření v radioterapii.

Urychlované částice mohou mít různý tvar dráhy, dle tvaru dráhy rozdělujeme urychlovače takto:

- cyklické urychlovače - betatron, cyklotron (tvar spirály nebo kružnice);
- lineární urychlovače (přímky). [5]

Obrázek 3 Schéma  
Cyklotronu [5]



Obrázek 4 Schéma betatron [5]

Obrázek 5 Schéma lineárního urychlovače [5]

V lékařské praxi se urychlené částice používají tak že urychlené částice nechají dopadnout na terčik, dochází tedy k získávání rentgenových paprsků s velmi krátkou vlnovou délkou anebo se používají rovnou k léčebným účelům. [5]

#### 1.4.1.4. Brachyterapie

Jedná se o metodu, při které se radioaktivní zářiče zavádí přímo do orgánů. Zpočátku se radioizotopy zaváděly přímou metodou, tedy ručně, což ovšem mělo za důsledek značnou expozici personálu. Automatický (dálkově ovládaný) afterloading se začal používat v 80. letech. Automatický afterloadingový přístroj se skládá ze zásobního kontejneru, který tvoří stínění pro jeden nebo více zdrojů. Tyto zdroje jsou uzavřeny v pevném kovovém obalu, aby bylo jejich uvolnění zcela vyloučeno. Běžně se do orgánů zavede trubička z plastické hmoty (aplikátor), do které se vloží jen maketa zářiče. Po kontrole správnosti zavedení je do aplikátoru zaveden vlastní zářič. [5]



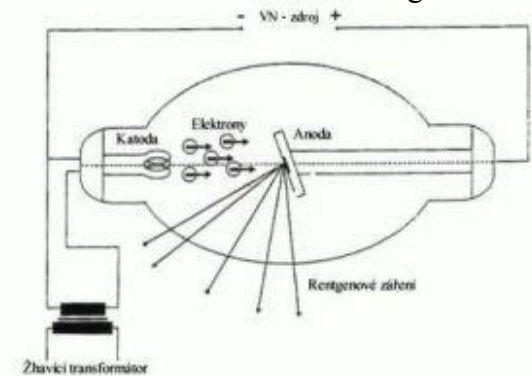
Obrázek 6 Automatický afterloadingový přístroj [5]

#### 1.4.2. Zdroje ionizujícího záření používané na radiologických odděleních

Základními vyšetřovacími technikami, které využívají rentgenové paprsků, jež jsou generovány právě rentgenkou, jsou: skiografie (statické pozorování nálezu) a skiaskopie (dynamické studie). Obraz je u skiagrafičtých vyšetření vytvářen tak, že svazek záření dopadá přímo na digitální senzor anebo přímým působením rentgenového svazku na film. Výpočetní tomografie je taktéž založena na principu zeslabení svazku záření po průchodu pacientem. [5]

##### 1.4.2.1. Rentgenka

Rentgenka je, jak jsme se již zmínili výše zdroj rentgenového záření. Jedná se o skleněnou, evakuovanou trubici (Coolidgeova lampu). Žhavená katoda (ve formě spirály) a anoda je zabudovaná ve vzduchoprázdném prostoru trubice. Ta má u rentgenek s rotačních anod tvar talíře a u pevné anody tvar terčíku. Katoda a anoda jsou z wolframu. Wolfram s vysokým bodem tání, snáší teploty až do 3 000 °C, jedná se o kov s vysokým protonovým číslem, který se hodí také k brždění prudce letících elektronů. Jakmile vložíme napětí desítek až stovek kV mezi katodu a anodu, vylétnou elektrony z katody a dopadnou prudce na anodu. Méně než 1 % v rentgenové záření se změní v brzdné a charakteristické a více než 99 % kinetické energie elektronů se změní v teplo. [5]



Obrázek 7 Schéma rentgenky [5]



#### 1.4.2.2. Skiagrafie

Skiagrafie využívá pro vykreslení lidských tkání rozdílnou hodnotu pohlcení procházejícího svazku rentgenového záření v odlišných tkáních. Výsledkem skiagrafie je rentgenový film či detekční systém přístroje (tedy obraz zachycený na citlivý materiál). Z obrazu lze snadno vyčíst vnitřní stavbu zkoumaného orgánu a jeho případné patologické stavy. Tento druh vyšetření se hodí zejména k vyšetřování kloubů, kostí, kloubů, plic, páteře, lze však také zobrazit i měkké tkáně. [5]



Obrázek 8 Rentgenový přístroj [5]



Obrázek 9 Skiagrafický snímek ramene [5]

#### 1.4.2.3. Skioskopie

Skioskopie je metoda, jež umožňuje zobrazení lidského těla v reálném čase za pomoci pomoci rentgenového záření. Během vyšetření je kontinuální výstup vytvářen dopadem rentgenového záření na fluorescenční stínítko zesilovače obrazu, který je spojen s televizním řetězcem a TV monitorem. Záznam obrazu je dokumentován v digitální podobě či na filmový materiál, popřípadě lze použít jiné dokumentační techniky. Využívá se především k zobrazení žlučových cest, trávicí trubice, močového měchýře a vývodných cest močových, páteřního kanálu či některých patologií. Pro zobrazení se používá kontrastní látka, jež zabraňuje průchodu rentgenového záření. [5]



Obrázek 10 Skiaskopické pracoviště [5]



Obrázek 11 Kontrastní vyšetření tlustého střeva [5]

#### 1.4.2.4. Zubní rentgeny

Intraorální rentgen, jež umožňuje získat výborné snímky vyšetřované oblasti s minimální dávkou záření jsou v dnešní době základním vybavením každé stomatologické ordinace. Po průchodu tkání rentgenové paprsky dopadají přímo na digitální senzory či na film. Lékař tak má snímek v podstatě okamžitě k dispozici. [5]



Obrázek 12 Intraorální zubní rentgen [5]

Pro podrobné a přehledné zobrazení celé čelisti na jednom snímku je možné využít panoramatické dentální rentgeny (tzv. OPG).



Obrázek 13 Panoramatický dentální rentgen [5]



#### 1.4.2.5. Výpočetní tomografie

*„Výpočetní tomografie (CT - Computed Tomography) je zobrazovací metoda využívající digitální zpracování dat o průchodu rentgenového záření v mnoha průmětech vyšetřovanou vrstvou. Princip je stejný jako při klasickém snímkování - jde o zeslabení procházejícího rentgenového záření ve vyšetřovaném objektu. Svazek záření vycházející z rentgenky je vycloněn do tvaru vějíře, jehož šířka určuje šířku zobrazované vrstvy. Záření po průchodu vyšetřovaným objektem (pacientem) dopadá na detektory uložené naproti rentgence. Zde se množství dopadajícího záření převádí na elektrický signál, který dále zpracovává počítač. Během rotace jsou provedeny stovky měření, z nichž počítač rekonstruuje obraz vyšetřované vrstvy (je dán hodnotami absorpčních koeficientů z jednotlivých míst dané vyšetřované vrstvy).“ [5]*



Obrázek 14 Pracoviště výpočetní tomografie [5]



Obrázek 15 CT snímek břicha [5]

*„Nové metody rentgenových vyšetření, zejména pak výpočetní tomografie a intervenční metody pod rentgenovými přístroji, jsou diagnosticky i terapeuticky vysoce efektivní. Celosvětově a také u nás se však stále rozšiřuje škála i množství indikací k vyšetření pacientů. Tím rovněž narůstá takzvaná kolektivní dávka.,,[5]*

### **1.4.3. Zdroje ionizujícího záření používané na odděleních nukleární medicíny**

V nukleární medicíně jsou uplatňovány pouze umělé radionuklidy, jež mají vhodné fyzikální charakteristiky, mezi které se řadí:

- fyzikální poločas přeměny v rozmezí od několika hodin až několika desítek dnů;
- emise záření beta a gama (případně char. rentgenového záření);
- energie záření gama (případně char. rentgenového záření) v rozmezí od 30 keV do 511 keV.

V nukleární medicíně se používají jako diagnostické metody radionuklidy emitující gama záření. Existují dva druhy vyšetření:

- *in vivo* neinvazivním způsobem studují fyziologické a biochemické procesy v těle, lokalizují se a diferencují se patologické změny a to sice tak, že se do těla aplikují radiofarmaka a pomocí vhodných přístrojů detekují gama záření
- *in vitro* se skládají z provedení využívajících radioaktivních látek ke stanovení například koncentrace hormonů nebo protilátek v krvi. V případě těchto metod se pracuje jen se vzorkem krve, z tohoto důvodu není pacient nijak radiačně zatížen.

Radionuklidy, jež emitují záření  $\beta$  jsou používány pro terapii některých maligních a benigních onemocnění. Jde především o léčbu paliativní terapii metastáz v kostech (zejména při karcinomech prostaty a prsu), pro léčbu chronických kloubních onemocnění, onemocnění štítné žlázy. Vzhledem k tomu, že záření  $\beta$  má v tkáni dosah jen několik mm, je prakticky veškerá jeho energie se absorbována v cílovém ložisku.

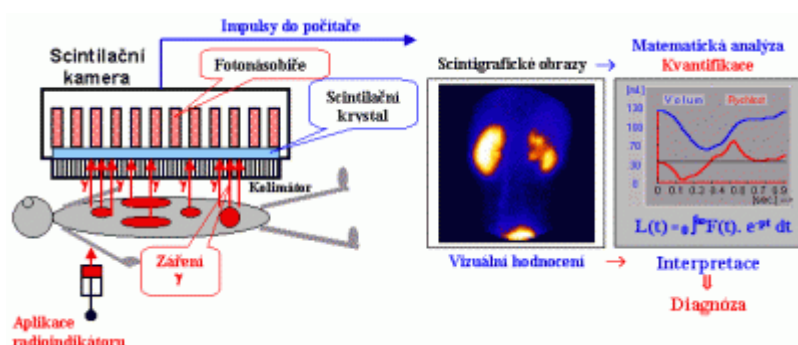
Vybrané čisté  $\gamma$  zářiče, jež jsou využívány diagnostické účely jsou produkovány radionuklidovými generátory, jež jsou sestaveny na principu přeměny mateřského radionuklidu s dlouhým fyzikálním poločasem přeměny na krátkodobý dceřiný radionuklid. Využívá se značení radiofarmak. V České republice se na odděleních nukleární medicíny v nejvíce využívá technecium  $^{99m}\text{Tc}$ .

Radionuklidy pro lékařské použití se kromě generátorů připravují taktéž v cyklotronu. Radionuklidy pro nukleární medicínu se vyrábí také v jaderném reaktoru. Příslušnými chemickými postupy jsou izotopy různých prvků oddělovány, ale obvykle bývá problematické izolovat požadovaný radionuklid v čisté formě kvůli podobnému chemickému chování. [5]

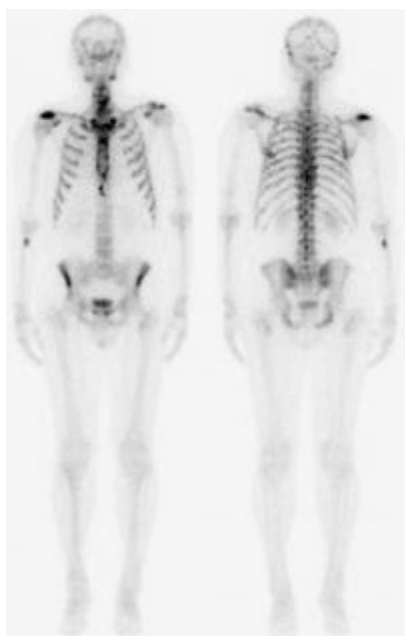
Pomocí zevní detekce záření  $\gamma$  lze orgán vykreslit a to sice tak, že se nahromadí radiofarmakum v dostatečném množství ve vyšetřovaném orgánu. Zobrazovací systémy poskytují obraz a dávají informaci o distribuci radiofarmaka v zorném poli detektoru. Dle způsobu zobrazení je možné přístroje, jež detekují záření vycházející z radiofarmak rozdělit na tomografické a planární (PET, SPECT). V obraze planárním je kontrast obrazu výrazně nižší než v obraze tomografickém. [5]

#### 1.4.3.1. Planární scintigrafie

Po aplikaci dojde k rozptýlení radioindikátoru v určitých částech organismu. Distribuci pomocí zevní detekce vycházejícího záření  $\gamma$  přenášíme do obrazu scintilační kamerou v počítači vznikají digitální scintigrafické obrazy. Obrazy vyšetřovaných procesů je možné pomocí křivek matematicky analyzovat a také můžeme počítat kvantitativní parametry funkce jednotlivých orgánů. [5]



Obrázek 16 Schéma scintigrafického procesu [5]



Obrázek 17 Scintigrafie skeletu [5]

#### 1.4.3.2. Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT)

„SPECT je zobrazovací metoda, která dokáže zobrazit prostorové rozložení radiofarmaka v lidském těle. Gantry umožňuje pohyb detektoru kolem těla pacienta v malých úhlových krocích, případně jsou přístroje vybavovány zařízením, které automaticky udržuje optimální vzdálenost detektoru od povrchu těla pacienta. Při vyšetření se otáčením jednoho až tří detektorů kolem těla pacienta zhotovuje velké množství projekcí. Získaná data jsou uchována v paměti počítače pro další zpracování a rekonstrukci obrazů ve třech základních vzájemně kolmých rovinách - transversální, frontální a sagitální. Na rozdíl od rentgenových metod, které zobrazují tělní struktury, se tato metoda soustředí na zobrazení funkce daných orgánů.“ [5]



Obrázek 18 SPECT [5]

#### 1.4.3.3. Pozitronová emisní tomografie (PET)

Při interakci pozitronu s elektronem se dají detekovat dva anihilačních fotony gama vzniklé ve tkán. Tyto dva fotony, mají totožnou energii (511 KeV) a vzniknou ve stejnou chvíli. Pohybují se v opačných směrech (v úhlu 180 stupňů) do okolního prostoru a nakonec dopadnou na dva protilehlé detektory. Koincidenčním obvodem, jsou tyto detektory spojeny, tzn. že zachytí pouze fotony, jež dopadají na oba protilehlé detektory současně. Detektory jsou uspořádány ve tvaru prstence. PET kamera obsahuje buď přeborné množství detektorů ve stacionárních prstencích uspořádaných v řadách anebo sudý počet detektorů rotujících kolem pacientova těla. Vzhledem k tomu, že se výsledná informace dále zpracovává, je nám umožněno rekonstruovat přesné polohy bodů, kde došlo k anihilaci. Tak se získá obraz prostorového rozložení radiofarmaka v organismu. Tato metoda je využívána především v neurologii, kardiologii a onkologii. [5].



Obrázek 19 Pozitronová emisní tomografie [5]

#### 1.4.3.4. PET/CT

Tento přístroj je spojením PET a CT vyšetření do jednoho stroje. Spojení funkčních a anatomických informací dodává integrovanému kombinovaného PET/CT jeho vyjímčnost a ojedinelost. Za použití počítače lze uskutečnit spojení (fúzi) obrazů z obou modalit (PET i CT). Spojení tak umožňuje přesně určit, ve které anatomické struktuře se nachází patologické ložisko se zvýšenou metabolickou aktivitou (např. nádor). Nejvýznamnější funkcí je však možnost přístroje odhalit nádory v mnohem časnějším stadiu.



Obrázek 20 PET/CT [5]

## **1.5. Principy radiační ochrany**

### **a) Zdůvodnění**

Každý, kdo využívá jadernou energii nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo zásahy k omezení přírodního ozáření nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, musí dbát na to, aby toto jeho jednání bylo odůvodněno přínosem, který vyváží rizika, která při těchto činnostech vznikají nebo mohou vzniknout [6].

### **b) Nepřekročení limitů (§ 18- 22 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění č. 499/2005 Sb.)**

Každý, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření, je povinen omezovat ozáření osob tak, aby celkové ozáření způsobené možnou kombinací ozáření z činností vedoucích k ozáření nepřesáhlo v součtu stanovené limity.

Systém je zajištěn stanovením limitů ozáření, odvozených limitů a autorizovaných limitů [6].

**Limity ozáření** jsou závaznými kvantitativními ukazateli pro celkové ozáření z radiačních činností, jejichž překročení není ve stanovených případech přípustné. Dělí se na:

- obecné limity (vztahují se na celkové ozáření z radiačních činností, tj. činností při využívání umělých i přírodních zdrojů záření, nevztahují se na profesní, lékařské a havarijní ozáření);
- limity pro radiační pracovníky (limity pro profesní ozáření, tj. ozáření v přímé souvislosti s výkonem práce);
- limity pro učně a studenty (od 16 do 18 let věku).

**Odvozené limity** jsou pomocnými kvantitativními ukazateli, vyjádřenými v měřitelných veličinách a sloužícími ve vybraných případech k prokazování, že limity pro radiační pracovníky nebyly překročeny.

**Autorizované limity** jsou závazné kvantitativní ukazatele stanovené v příslušném povolení pro jednotlivou radiační činnost nebo jednotlivý ZIZ, zpravidla jako výsledek optimalizace RO [8].

Tabulka 1 Limity ozáření

limitová veličina	obecný limit	limit pro radiační pracovníky	limit pro učně a studenty
součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření	1 mSv/rok	100 mSv/5 roků 50 mSv/rok	6 mSv/rok
ekvivalentní dávka v oční čočce	15 mSv/rok	150 mSv/rok	50 mSv/rok
průměr. ekvivalentní dávka v 1 cm kůže	50 mSv/rok	500 mSv/rok	150 mSv/rok
ekvivalentní dávka v prstech až předloktí a v chodidlech až po kotníky	-	500 mSv/rok	150 mSv/rok

**c) Optimalizace RO** (§ 4 zákona + § 17 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění č. 499/2005 Sb.)

Každý, kdo využívá jadernou energii nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo provádí zásahy k omezení přírodního ozáření nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, je povinen dodržovat takovou úroveň jaderné bezpečnosti, RO, fyzické ochrany a havarijní připravenosti, aby riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při uvážení hospodářských a společenských hledisek [6].

**d) Kontrola nad ZIZ**

Zajištění bezpečnosti zdrojů je dáno bezpečnostními pravidly, která musí usměrňovat přístupy a chování při používání zdrojů. Ochrana a bezpečnost zdrojů má být zajištěna řádným řízením, dobrou technikou, systémem zabezpečení jakosti a výcvikem a vzděláváním personálu [6,9].

## 1.6. Klasifikace ZIZ

Ve smyslu § 4 odst. 12 zákona podle § 4, 6,7, 8, 9,10 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění č. 499/2005 Sb.

Zdroje ionizujícího záření se podle vzestupného ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením klasifikují jako:

- **nevýznamné** (např. požární hlásiče);
- **drobné** (např. rentgenové analyzátory, kostní denzitometry, ionizační hlásiče požáru, jejichž součet aktivit zářičů je větší než desetinásobek příslušné zprošťovací úrovně aktivity a nachází se současně v jedné budově a v držbě jedné osoby);

K nakládání s nevýznamnými a drobnými zdroji není zapotřebí povolení Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB, Úřad) pokud se uskutečňuje v souladu s návodem k použití těchto ZIZ schváleným Úřadem při jejich typovém schvalování. Používání těchto ZIZ podléhá pouze tzv. ohlašovací povinnosti stanovené v § 21 a 22 zákona.

- **jednoduché** (např. zubní rentgenová zařízení, veterinární rentgenová zařízení);
- **významné** (např. skiagrafická, skiaskopická rentgenová řízení a pro lékařskou diagnostiku, mamografická zařízení, CT);
- **velmi významné** (jaderné reaktory).

K nakládání s jednoduchými, významnými a velmi významnými ZIZ je vždy zapotřebí povolení SÚJB podle § 9 odst. 1 písm. i) zákona. Způsoby nakládání vyžadující povolení jsou stanovené v § 36 vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění č. 499/2005 Sb. V případě, že se týká této práce, tj. provádění lékařského ozáření skiagrafickými zařízením, jde o způsob nakládání, kterým je „používání“ podle § 36 písm. g) cit. vyhlášky.



## **1.7. Klasifikace pracovišť**

Ve smyslu § 12 zákona podle § 11-15 vyhlášky 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění č. 499/2005 Sb.

Pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti se zařazují do kategorií:

- **I. kategorie** (pracoviště např. s drobnými typově neschválenými ZIZ, s kostním denzitometrem, s veterinárním nebo zubní rentgenovým zařízením);
- **II. kategorie** (pracoviště např. s rentgenovým zařízením pro radiodiagnostiku nebo radioterapii, kromě jednoduchých ZIZ);
- **III. kategorie** (pracoviště např. s urychlovačem částic, se zařízením obsahujícím uzavřený radionuklidový zářič pro radioterapii, včetně brachyterapie);
- **IV. kategorie** (jaderná zařízení, úložiště radioaktivních odpadů).

Toto zařazení je provedeno na základě:

- klasifikace ZIZ, o nichž se předpokládá, že se s nimi bude na pracovišti nakládat;
- očekávaného běžného provozu pracoviště a související míry možného ozáření pracovníků a obyvatelstva;
- zaměření radiační činnosti a náročnosti na zajištění RO a jakosti při této činnosti;
- vybavení a zajištění pracoviště pro bezpečnou práci se ZIZ, zejména ochrannými pomůckami, izolačními a stínícími zařízením, provedením ventilace a kanalizace;
- potenciálního ohrožení plynoucího z předvídatelných poruch a odchylek od běžného provozu;
- rizika vzniku radiační nehody nebo havárie, závažnosti následků takové události a možnosti zásahů.

Pro provoz pracoviště I. a II. kategorie není zapotřebí povolení SÚJB. Provoz pracoviště III. a IV. kategorie musí být povolen rozhodnutím S ÚJB podle § 9 odst. 1 písm. d) zákona.

## **2. USMĚRŇOVÁNÍ LÉKAŘSKÉHO OZAŘOVÁNÍ**

Odpovědnost indikujícího lékaře i lékaře provádějícího úkon vedoucí k ozáření diagnostické nebo terapeutické aplikace zdrojů ionizujícího záření. Indikující lékař musí být kvalifikován, aby posoudil jak očekávatelný přínos, tak i újmu z ozáření s úkonem spojenou, s uvážením alternativních technik a postupů. Zdravotničtí pracovníci, jež mohou nést odpovědnost za toto ozáření vymezuje Vyhláška 307/2002 Sb. v platném znění. Klinicky správně indikované vyšetření je pokládáno za zdůvodněné ve stylu principů radiační ochrany. [7]

Optimalizace ochrany před zářením je již brána v potaz právě při projekci přístrojů, pracovišť, v nichž se zařízení budou používat a při provozu volbou ověřených metod a důsledným zajištěním a kontrolou jakosti. Podmínky pro výstavbu a provoz jsou stanoveny ve vyhlášce, kde jsou podmínky detailně specifikovány. U každého vyšetření je cílem „dosažení nejnižší expozice nezbytné k diagnostickému záměru, s uvážením standardu přijatelné kvality zobrazení, stanoveného profesionálním tělesem a příslušných vodítek lékařské expozice.“ Směrné hodnoty pro lékařská ozáření jsou stanoveny ve vyhlášce 307/2002 Sb. v platném znění. Opírají se o tzv. dobrou a ověřenou praxi u typického pacienta a jsou vydávány v dohodě s odbornými lékařskými společnostmi. Směrné hodnoty jsou nově zavedeným institutem. Tento institut má přispět k usměrňování lékařské expozice. Hodnoty však nemají charakter závazných ukazatelů a jsou používány k optimalizaci a k jejímu posuzování. Překračování je v současné době řešeno jako přešetření příčin nepřiměřeně vysoké zátěže pacientů a k nápravným opatřením týkajícím se zpravidla techniky vyšetření. Touto metodou se však nevylučují další úsilí o nalezení optimalizovaných hodnot. Vyhovění požadavkům směrných hodnot se tedy nevylučují. [7]

*„Požadavky na ochranu pacientů směřují ke snižování kolektivní dávky obyvatelstvu z tohoto zdroje. Tuto kolektivní dávku obyvatelstvu lze samozřejmě snižovat volbou vhodných technických parametrů vyšetření, tj. snižováním individuálních dávek při vyšetření jednotlivého pacienta. Cestou ke snížení populační zátěže je však i omezení počtu prováděných vyšetření, tedy usměrňování indikací k vyšetřením důsledným uplatňováním principu zdůvodnění vyšetření.“ [7]*

Aktivita světové zdravotnické organizace zaměřené na tvorbu programů zajišťování kvality lékařských ozáření [WHO 1982] byla významným krokem ke snižování dávky při používání lékařských zdrojů v diagnostice.

Cílem je snížení radiační zátěže pacientů a zdravotnického personálu, zlepšení kvality zobrazení a tím zvýšení obsahu diagnostické informace a samozřejmě také snížení nákladů na radiodiagnostická vyšetření. Součástí programu jsou i specifické požadavky na výše uvedené zkoušky, které zajišťují, že daný zdroj vyhovuje požadavkům stanoveným pro použití onoho zdroje k lékařskému ozáření.

U každého zařízení (nejen určeného k lékařským aplikacím), které chce výrobce uvést na trh jsou povinné typové zkoušky. Jedná se o tyto zkoušky:

- Přijímací zkouška
- Zkouška dlouhodobé stability
- Zkouška provozní stálosti

Cílem těchto zkoušek je ověření, že vlastnosti zařízení odpovídají těm, které výrobce uvádí v technické dokumentaci, a hlavně také, zda jsou ve shodě s platnými mezinárodně uznávanými normami. Typové zkoušky jsou prováděny autorizovanými zkušebnami. Předmětem těchto zkoušek je široké spektrum požadavků, včetně elektrické, mechanické a radiační bezpečnosti. [7]

Jakmile je dokončena instalace nového zařízení, či modifikaci stávajícího zařízení, provádí se přijímací zkouška, jejímž cílem je ověřit, že nové zařízení je v souladu s příslušnými ustanoveními technických norem, s vlastnostmi zařízení uvedenými v technické dokumentaci výrobce a ověřenými při typovém schvalování a s dalšími požadavky stanovenými v kupní smlouvě mezi odběratelem a dodavatelem. Přijímací zkoušku může být prováděna pouze oprávněnou osobou, avšak tato osoba nesmí být v žádném vztahu k dodavateli, abychom zamezili střetu zájmů. Pokud přijímací zkoušku provádí pracovník dodavatele, měl by si budoucí uživatel určit kvalifikovaného a především kvalifikovaného odborníka k následné analýze výsledků zkoušky. Rozsah a parametry přijímací zkoušky se různí dle toho, k čemu je zařízení určeno, jak je náročné a k jakým účelům bylo pořízeno. Jak u nových, tak i u starších přístrojů a vybavení je zapotřebí vzít v potaz dosažitelnost povolené tolerance pro měřené parametry. Výsledky zkoušky je nutno řádně zdokumentovat. Výsledky přijímací zkoušky slouží jako porovnávání výsledků všech dalších zkoušek během

provozu zařízení a také jako objektivní zhodnocení předání plně funkčního a optimálně výkonného zařízení. [7]

Po přijímací zkoušce se provádí tzv. zkouška dlouhodobé stability, jež má za cíl ověřit funkčnost zařízení. Zkouška se provádí v pravidelných časových intervalech (nejpozději za jeden rok) a to zejména proto, aby se prokázala dlouhodobá spolehlivost a standardní výkonnost zařízení. Po každé opravě či kalibraci zařízení či při podezření na chybnou funkci některé z komponent zařízení je nutné provést tuto zkoušku. Zkoušky dlouhodobé stability může, vzhledem k charakteru absolutních měření, stejně jako přijímací zkoušky provádět pouze oprávněná, vysoce kvalifikovaná osoba. [7]

Je však nutno zdůraznit, že bezchybný chod rentgenového pracoviště a úroveň jeho diagnostických výkonů, stejně jako nízkou radiační zátěž pacientů ještě nezaručují příznivé výsledky přijímací zkoušky nebo zkoušky dlouhodobé stability. Dodržování správných postupů v celém procesu, tzn. např. u rtg diagnostiky, správné zpracování a vyhodnocení ozářeného filmu jde ruku v ruce s kontrolou zdroje a je tak nezbytnou podmínkou pro dosažení zdůvodněné a optimalizované. Cestou k dosažení úspěchu v celém tomto procesu je schválení a vypracování standardních postupů jednotlivých lékařských aplikací ZIZ.

Zkoušky provozní stálosti jsou významné během každodenního provozu lékařského ZIZ zejména pro zajištění kvality a standardnosti zobrazení. Zkoušky jsou zaměřené i dalších částí procesu (např., v případě rtg diagnostiky - zobrazovacího řetězce, receptoru obrazu - kazet a zesilujících fólií, vyvolávacího procesu, podmínek čtení filmů), nejen na vlastní zdroj. Zkouška není časově náročná a skládá se z časově nenáročných a snadných postupů, jedná se tedy i relativní měření. Tyto zkoušku většinou provádí pověřený pracovník RTG oddělení a to sice v relativně krátkých časových intervalech. Dalo by se také říct, že jde o rutinní záležitost, kdykoliv dojde během denní služby k podezření na špatnou funkci některého z článků zobrazovacího řetězce. [7]

Nová rentgenová zařízení musí být zařazena tam, kde je to technicky možné. Poté spolu s daným příslušenstvím poskytnou kvantitativní informace o záření. Skiaskopie bez daných doplňků, jako je například zesilovač se nesmí používat. Skiaskopické rentgenové zařízení bez automatické regulace dávkovaného příkonu se smí použít jen u mimořádných

případů. Zdroje, které jsou určeny k terapeutickému využití se umísťují do ozařoven nebo vyšetřoven, kde se obsluhují z chráněných obsluhoven. Výjimkou je zařízení, kde se účel použité nebo jeho konstrukce neslučují s překročením daných limitů. Nová terapeutická radiologická zařízení se nesmějí používat bez odpovídajícího dozimetrického vybavení, bez simulátoru pro radionuklidové ozařovače a bez odpovídajícího rentgenového zařízení pro brachyterapii. Terapeutická aplikace ZIZ má taktéž svá specifika. Všechny tyto zdroje jsou zařazeny do kategorie významných zdrojů ionizujícího záření. Musí tedy být zajištěno bezpečné nakládání i po ukončení jejich využívání. Proto při žádosti k provozování radioterapeutického pracoviště je třeba zpracovat návrh, kde se ZIZ vyřadí z provozu. Také se musí zpracovat plán finančních nákladů, které budou spojeny spolu s likvidací. V případě radionuklidových zářičů musí být náklady ověřeny Správou úložišť radioaktivních odpadů. Nemocnice, která má povolení k nakládání s těmito zdroji je povinna vytvářet finanční rezervu tak, aby bylo v daném čase k dispozici dostatečné množství finančních prostředků pro likvidaci radioaktivního odpadu a pro vyřazení významných zdrojů záření z provozu pracoviště.“ [7]

Jednou z důležitých oblastí lékařských aplikací, jež je potřeba se zabývat, obnáší práce s otevřenými zářiči na odděleních nukleární medicíny. Tato je totiž spojena nejen s rizikem vnějšího ozáření, ale i s rizikem průniku radioaktivních látek do organismu, způsobující nebezpečné vnitřní ozáření. [7]

Redukce zevního ozáření osob z daného zdroje, který se nemusí týkat jen oblasti medicínských aplikací, je prováděna zavedením opatření, vycházejících z již známých poznatků. Existují tři základní principy a to ochrana časem, ochrana vzdáleností a ochrana stíněním a jejich vzájemné kombinování. Kolektivní expozice se dá také redukovat snížením počtu ozářených osob. Ochranu časem lze definovat tak, že účinky ozáření jsou úměrné dávce, kdy radiační pole je charakterizováno příkonovými veličinami. Násobek redukce času expozice se pak rovná i násobku redukce dávky. Velmi snadno lze zhodnotit i další princip - ochranu vzdáleností u bodových zdrojů ionizujícího záření, kdy snižování příkonových veličin je přímo úměrné čtverci vzdálenosti. Tento nástroj je tudíž velmi využitelný a účinný v praxi. [7]

Samotné snížení příkonových veličin v prostorách, kde se předpokládá výskyt osob, však není dostačující, proto je nutno použít současně i třetí postup ochrany – stínění. Proces navrhování stínící konstrukce můžeme rozdělit do dvou fází. První z nich – ocenění (výpočet, měření) hodnoty veličiny radiačního pole bez stínění a stanovení potřebné hodnoty dané

veličiny, které má být stíněním v daném prostoru dosaženo. Poměr těchto dvou hodnot – koeficient zeslabení je poté vstupem do druhé fáze, kterou je návrh stínění. První fáze obnáší uplatňování principů radiační ochrany – zavádění základních limitů (obecných i pro pracovníky), zefektivnění ochrany a omezení expozice pro daný zdroj (očekávaná doba pobytu osob v zasažené oblasti, počty a typ osob – obyvatel, pracovníků, apod.). Druhá fáze se zabývá transportem záření a konkrétních výpočtů stínění. [7]

Vnitřní ozáření můžeme definovat jako stav, kdy je živý organismus vystaven ionizujícímu záření, vysílanému radionuklidy, v něm přítomnými. Jednou z možností jakou toto ozáření může nastat je vnitřní kontaminace zapříčiněna po příjmu umělých nebo přírodních radionuklidů. Dalšími variantami je výskyt přírodních radionuklidů v organismu v přírodní izotopické směsi prvku, který se normálně objevuje v organismu, nebo o důsledek způsobený lékařským použitím radionuklidů. [7]

Do organismu se radionuklidy mohou dostat několika různými způsoby – ingescí, inhalací, vstupem přes poraněnou kůži (zde lze řadit i injekční aplikaci při lékařském použití), absorpcí přes neporaněnou kůži (tritium). Poté co se radionuklid vyskytuje v těle, je jeho biokinetika velmi složitá a k jejímu popsání je nutné použít zjednodušující předpoklady. Kinetika radionuklidu je avšak dána vždy jeho chemickou vazbou a fyzikálními vlastnostmi kontaminantu (velikostí pevných nebo aerosolových částic). Z výše uvedených možných cest vstupu radionuklidu do organismu jsou při odhadování dávek z vnitřní kontaminace nejstěžejnější ingesce a inhalace, a to pro obyvatele i pro pracovníky. [7]

*„I když je lidské tělo převážně složeno z kyslíku, uhlíku a vodíku, obsahuje velké množství ostatních prvků [ICRP 1975]). Téměř všechny tyto prvky mají radioaktivní izotopy, které, když se dostanou do těla, sledují stejné biokinetické cesty jako jejich neradioaktivní izotopy. Některé prvky (např. fosfor, jód, draslík) se podílejí na specifických metabolických procesech, čímž je též řízena jejich distribuce a transport v těle. Radionuklidy dalších prvků se obvykle chovají jako jejich analogy, přítomné v těle ve větším množství. Tak na příklad cesium sleduje draslík a alkalické zeminy stroncium, baryum a radium sledují chování vápníku. Další radionuklidy, jako např. plutonium či americium nemají přírodní analogy a jejich chování v těle je určeno jejich afinitou k buněčným komponentám a transportnímu systému v těle; chování těchto radionuklidů není dosud zcela probádáno.“ [7]*

## **2.1. Zásady a optimalizace stínění (obecně)**

Optimalizace stínění zdrojů s ionizačním zářením je proces, který má za cíl dosáhnout co nejnižší kolektivní efektivní dávky u skupiny lidí, jež zdroj záření obsluhují či užívají. Předpokládáme, že u každé takovéto skupiny nedojde k překročení povolených limitů a snížení záření je ekonomicky zdůvodnitelné. [11]

Pro optimalizaci stínících konstrukcí lze použít metodu analýzy nákladů přínosu opatření, jež je pro daný proces výhodná. Předpokladem metody je, že můžeme vyjádřit všechna používaná kritéria peněžní hodnotou a užitky jsou lineárně či definovanou funkcí vázány na zmiňovaná peněžní kritéria. Jednotka charakterizující toto kritérium v analýze nákladů a přínosů opatření je peněžní hodnota.

Aplikace metody, tedy porovnávání nákladů a přínosů opatření a rozhodnutí jednoduchá. Vybíráme tu alternativu, u níž je výsledný čistý přínos vyšší než u ostatních variant. V praxi je pro tuto metodou použit vztah:

$$B = V - (P + X + Y)$$

*B*- čistý zisk vyplývající z realizace stavby;

*V*- hrubý přínos

*P*- veškeré základní výrobní náklady s výjimkou nákladů na radiační ochrany

*X*- náklady k dosažení zvolené úrovně radiační ochrany

*Y*- náklady spojené s újmou pro danou úroveň radiační ochrany (přínos opatření)

Souhrn nákladů na ochranu a nákladů v důsledků újmy je nutný pro vyhledání hodnoty, která splňuje optimalizační požadavky. Každá z hodnot je funkcí úrovně ochrany, kde  $\omega$  (např. rychlost ventilace, tloušťku stínění) vyjadřuje funkci úrovně ochrany, přičemž  $X(\omega) + Y(\omega)$  jsou rovny minimální hodnotě.

Volba optimální dvojice *X* a *Y* by za předpokladu, že *V* a *P* jsou nezávislé na  $\omega$  minimalizovala čistý přínos z realizace optimalizace. [11]



Vyjádření radiační újmy v jednotkách může být pro posouzení také vyžadováno optimalizace. V některých případech je vhodné použít spíše skutečné náklady, tzv. ‘přínos opatření’ než osobní ocenění změn újmy. Vzhledem k tomu, že přínos opatření i zdravotní újma jsou úměrné efektivní dávce  $S_E$ , považuje se za vhodné uvažovat, že náklady na zdravotní újmu (přínos opatření)  $Y$  jsou také úměrné hodnotě  $S_E$ .

$$Y = \alpha \cdot S_E$$

Kde  $\alpha$  vyznačuje součinitel přínosu opatření (rozměrová konstanta, jež vyjadřuje náklady přiřazené jednotkové kolektivní efektivní dávce pro účely radiační ochrany. V souvislosti se zdravotní újmou a náklady na ni vyloženou je nutné rozlišovat zdravotní a ekonomické předpoklady. [11]

$S_E$ , tedy kolektivní efektivní dávka je jednou z nejvýznamnějších hodnot vystupujících ve výpočtu optimalizace a následných procesech. Definice zní:

$$S_E = \int_0^{\infty} H_E \cdot N(H_E) dH_E$$

$N(H_E)$ - spektrum populace ve smyslu efektivní dávky způsobené zdrojem

$N(H_E) dH_E$  – počet osob, jež efektivní dávku v rozsahu  $H_E$  až  $H_E + dH_E$  ze zdroje obdrželi

Výpočet lze také nazvat váženými součiny, v tomto případě jde o efektivní dávku způsobenou zdrojem a počtem osob v exponované populaci.

Kolektivní efektivní dávka se používá jako indikátor zdravotní újmy (zdravotní újma u jedince je přímo úměrná efektivní dávce). Pro definici zdravotní újmy u exponované populace  $N$  osob, jež obdrželi efektivní dávku  $H_E$  použijeme tento vztah:

$$G_H = N \cdot R \cdot H_E$$

Pokud máme možnost definovat spektrum populace v závislosti na dávce ze zdroje, je zdravotní újma definována takto:

$$G_H = \int_0^{\infty} R H_E \cdot N(H_E) dH_E = R S_E$$

Předpokládáme, že celkové riziko na jednotkovou efektivní dávku pro celotělové ozáření  $R$  je u hodnot  $H_E$  konstantní a  $N(H_E)$  není nulové.



*„Případná změna úrovně radiační ochrany nemění pouze hodnotu kolektivní dávky, ale mohla by měnit rozložení individuálních dávek. V optimalizaci prováděné na jednoduché bázi zdravotní újmy a kolektivních dávek mohou principiálně převládat větší příspěvky ke kolektivním dávkám od velkých skupin pro nízkých úrovních individuální efektivní dávky. V některých zvláštních případech však mohou kompetentní orgány věnovat speciální pozornost relativně vysokým expozicím u malé skupiny lokálních jedinců, jejichž dávky by se mohly přiblížit autorizovaným limitům. V takovém případě by lepší radiační ochrana, ve smyslu požadovaném kompetentním orgánem, mohla být dosažena extrémním snížením u vybraných individuálních dávek a tak optimální úroveň ochrany může být více omezující než ochrana vycházející z využití vlastních zdrojů újmy.“ [11]*

Nezbytnou součástí postupu optimalizace je dodržení rámce limitních podmínek. Jedno z těchto omezení je odvozeno od požadavku zachování všech individuálních dávek pod odpovídajícími limity dávek. Další omezení mohou být stanovena na základě technických podmínek, jež jsou specifické pro danou situaci, nebo vlivem omezené dostupnosti zdrojů. [11]

### **2.1.1. Životnost stínících konstrukcí (morální a fyzická)**

Životnost konstrukce je v obecném slova smyslu definována jako schopnost objektu plnit požadované funkce do dosažení mezního stavu při stanoveném systému předpokládané údržby a oprav. Mezním stavem se rozumí stav objektu, ve kterém musí být pro neostranitelné porušení bezpečnostních požadavků neodstranitelné překročení předepsaných mezí stanovených parametrů, neodstranitelné snížení efektivnosti provozu pod přípustnou hodnotou nebo nutností provedení opravy jeho užívání přerušeno.

U masivních konstrukcí ozařoven není z důvodu jejich vysoké schopnosti plnit stínící úlohu limitující jejich životnost. Limitujícím faktorem je postupná modernizace zdrojů záření, jež se velmi rychle vyvíjí. Jsou nahrazovány modernějšími a výkonnějšími typy. Následkem modernizace je nekompatibilita se stávající stínící konstrukcí. Životnost stínících zařízení je tak odhadována na 30 let.

Životnost je však relativní pro každou konstrukci. U některých univerzálních konstrukcí lze životnost prosloužit. Jená se především o konstrukce, u kterých může být mnohonásobně uskutečněna modernizace. U vysoce specifikovaných konstrukcí však může také dojít ke zkrácení doby životnosti. [11]

**2.1.2. Materiály používané pro stínění**

Materiály, jež se používají pro stavby ozařovan mají krom statického úkolu také funkcí stínící. Je nutné, aby tyto materiály odstínili záření vycházející z ozařovačů na úroveň, která by neohrožovala okolí těchto staveb. Schopnost stavebního materiálu stínit závisí na objemové hmotnosti materiálu. Čím vyšší objemová hmotnost, tím vyšší stínící schopnost.

Nejlevnější stínícím materiálem je obecně obyčejný beton vyrobený z místních zdrojů. Pokud jsme však limitováni prostorem, je nutné použít často materiál s vyšší objemovou hmotností. Zvýšení objemové hmotnosti dosáhneme nahrazením běžného kameniva kamenivem těžkým (barytovým nebo přidáním litinové drže do betonu. S náhradou materiálu však také roste jeho cena, která je mnohdy neúměrná zlepšení stínících vlastností.

Pro stínění kritických míst je možné použít také ocelové, resp. olověné tvárnice. Toto opatření je možné použít u odstínování ozařoven s vysokoenergetickým zářením nad 0,5 MeV. U ozařoven se zdroji ionizujícího záření do 0,5 MeV, tedy převážně rentgeny, je výhodným materiálem pro stínění použít ve formě omítek baryt. Schopnost barytu absorbovat rentgenové záření je podstatně vyšší, než ta, již odpovídá jeho objemová hmotnost. [11]

## **2.2. Zásady a optimalizace stínění (konkrétní pracoviště)**

Zařízení lineárního urychlovače, gamaterapeutického, rentgenodagnostického a rentgenoterapeutického, na základě kterého bude nutno dimenzovat stínění ozařovny lze rozdělit do tří kategorií:

**I. Primární záření** – jedná se o svazek, jež vychází z lineárního urychlovače, následně prochází pacientem a dopadá na stínící konstrukce ozařovny. Ozáření musí být zeslabeno tak, aby na lící straně stínící konstrukce dosahovalo požadované bezpečné úrovně (konstrukce, jež se nachází přímo naproti svazku záření musí být na každé straně větší)

**II. Sekundární záření** dělíme na únikové a rozptýlené

- a) Únikové záření – záření, které vychází z ozařovací hlavy urychlovače. Toto záření se rozptyluje všemi směry. Jedná se o hodnotu příkomu 1% hodnoty primárního svazku. Energie unikového záření je stejná jako primární svazek.
- b) Rozptýlené záření – záření, jež vzniká při dopadu ozáření na předměty v místnosti a je dále rozptylováno po ozařovně. Tento druh záření nemá na dimenzování stínících konstrukcí lineárních urychlovačů vliv. [11]

### **2.2.1. Radioterapeutické pracoviště s lineárními urychlovači**

Komplikovaná technologie lineárního urychlovače dává urychlovači velkou hmotnost, která tak komplikuje situaci a je zapotřebí použití podpůrných systému a samozřejmě také zabezpečení. Velká tloušťka stínících zařízení je tedy kvůli vysoké energii brzděného záření samozřejmostí. Pro to, abychom mohli ozařovnu naprojektovat je nutné znát konkrétní typ urychlovače, jež bude v zařízení umístěn z důvodu informovanosti o jeho maximální energii a možného nastavení polohy hlavy lineárního urychlovače. Taktéž musíme znát pohyb obyvatelstva, jež se budou v okolí lineárního urychlovače pohybovat, rovněž počet pracovníků obsluhy a pracovní vytížení ozařovače. Veškeré podmínky je nutno kriticky posoudit a navrhnout pak složitou konstrukci ozařovny tak, aby vyhovovala předpisům a přitom byla ekonomicky výhodná.

Vzhledem k velkým stavebním nákladům na stavbu ozařovny pro lineární urychlovače je optimalizace těchto staveb zásadní. [11]

### **2.2.2. Gamaterapeutické pracoviště**

*„Gamazářiče jsou zdroje s trvalou emisí záření o přesně specifikované energii. K terapeutickým účelům se používají dva izotopy: kobalt Co60 a cesium Cs137. Energie těchto zářičů je nižší nežli u lineárního urychlovače, je však vyšší nežli u rentgenových přístrojů.*

*Ve srovnání s lineárním urychlovači jsou tloušťky stínících stěn gamaterapeutických ozařoven nižší. U těchto staveb je víc než vhodně, aby byla ozařovna řešena jako novostavba určena pro konkrétní typ gamazářiče. Pokud bude použita již stávající ozařovna, je nutné, aby byla posouzena z hlediska stínících funkcí. Pokud se projeví místa s nedostatečným stíněním, je nutné je dodatečně odstínit.*

*U gamazářiče je taktéž nutné vědět, kde bude ozařovací hlavice, abychom mohli vymezit směr primárního záření. Dále musíme znát počet pracovníků obsluhy a budoucí podmínky pohybu obyvatelstva.“ [11]*

### **2.2.3. Rentgenodiagnostické a rentgenoterapeutické pracoviště**

Rentgeny jsou zdroje s plynule měnitelnou energií záření do maxima a dočasnou emisí záření, který je dán konstrukcí rentgenu. Rentgeny do napětí 300kV jsou používány k terapeutickým účelům. RTG do napětí 150kV jsou používány k diagnostickým účelům. Energie, jež je využívána rentgenovými přístroji je nižší, než energie lineárního urychlovače a gamazářiče.

Rentgeny jsou mimo zdravotnictví také velmi často používané v průmyslu (stacionární rentgeny dosahují napětí 500kV) a používají se k defektoskopii.

Objem stínících konstrukcí rentgenových pracovišť je ve srovnání se stínícími konstrukcemi gamazářičů a lineárního urychlovače podstatně nižší stejně tak jako tloušťky stínících stěn.

Rentgenová pracoviště nevyžadují žádné zvláštní stínící konstrukce. Ozařovny jsou řazeny dispozičně jako rentgenodiagnostické a rentgenoterapeutické pracoviště, kde stropy, podlahy a stěny je nutno v případě, že po posudku nevyhovují efektivně odstínit.

Pro určení stínění je taktéž jako u předešlých zmíněných oddělení znát polohu a nastavení ozařovací hlavice pro možné vymezení úseku primárního stínění. Počet pracovníků obsluhy a budoucí podmínky pohybu obyvatelstva jsou rovněž nutností. [11]

### **3. MANAGEMENT RIZIK**

#### **3.1. Riziko, nebezpečí, zdroj nebezpečí**

##### **3.1.1. Riziko**

Definice pojmu riziko se může v závislosti na oboru, jakým se daná problematika zabývá měnit. Definice pojmu riziko tedy existuje nepřeberné množství. Dalo by se tedy prohlásit, že jednoznačná všeobecná definice pro tento pojem neexistuje. Obecně však můžeme říct, že každý obor do pojmu riziko zahrnuje vždy nějaký svůj prvek.

Riziko se však vždy skládá ze dvou zásadních prvků v určitém časovém období a těmi jsou:

- Pravděpodobnost vzniku tzv. nežádoucího stavu
- Následek tzv. nežádoucího stavu

Pro možnou kvantifikaci rizika vyjadřujeme riziko jako součin pravděpodobnosti vzniku a následku ve znění:

$$R = P \cdot N$$

kde R - hodnota rizika;

P - pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu;

N - následek nežádoucího vztahu.

Základní rozdělení rizika při jeho řízení je následující:

- kvantitativní (graficky, číselně či slovně ohodnocená míra rizika);
- kvalitativní (riziko spojené s nevyhovující kvalitou).

Rizika je možné dělit také podle jejich závažnosti:

- Bezvýznamné, zanedbatelné riziko (není vyžadováno zvláštní opatření);
- Akceptovatelné, méně významné riziko (je nutno svážit opatření a náklady na řešení či zlepšení současného stavu);
- Nežádoucí riziko (rychlost provedení opatření není natolik závažné jako u rizika významného, avšak je nutné prostředky na snížení rizika použít ve stanoveném časovém období);
- Významné riziko (vyžaduje urychlené provedení odpovídajících bezpečnostních opatření);
- Nepříjemné riziko (jedná se o riziko s katastrofickými důsledky, je nutné okamžité zastavení činnosti, odstavení z provozu do doby provedení nezbytných opatření a nového vyhodnocení rizik). [12]

Je nutno také poznamenat, že nulové riziko neexistuje.

Riziko bývá také spojeno se strachem z něčeho neznámého nebo z neznámých následků jinak známých jevů. Je nutné podotknout, že někdy může být možnost vzniku nežádoucích jevu jen fikcí. Tyto obavy obvykle působí zcela opravdově a mohou ovlivňovat rozhodování stejně významně jako skutečně hrozící nebezpečí.

Takové vnímání rizika je založeno na umělém vytvoření nejistot, proto v takové chvíli je řešením analýza rizik a srozumitelná komunikace se subjekty o rizicích. [13]

### **3.1.2. Nebezpečí**

*„Nebezpečím označujeme reálnou hrozbu poškození vyšetřovaného objektu nebo procesu.“ [14]*

Nebezpečí je možné rozdělit následovně:

- Relativní mnohdy také zvané relative risk (pro jednoho příznivá, pro druhého nepříznivá událost)
- Absolutní také známe jako absolute risk (pro jedince vždy nepříznivou událostí)

Nebezpečí je možné rozdělit také dle jeho původu:

- přírodní nebezpečí (povodně, hurikány, zemětřesení, atd.);
- technická a technologická nebezpečí (narušení materiálu, zřícení konstrukce či jeho prvku, selhání, atd.);
- společenská nebezpečí ( nebezpečí způsobená neúmyslně či naopak úmyslně lidským faktorem).

### **3.1.3. Zdroj nebezpečí**

Jako zdroj nebezpečí je možné chápat schopnost aktivovat nebezpečí v určitém prostoru a čase. Jde o nebezpečí anebo nebezpečné činnosti. Zdrojem nebezpečí se myslí technologie , stroje, pracovní činnosti apod., které mohou způsobit negativní jev, škodu či úraz. [12]

Pojem riziko, nebezpečí a zdroj nebezpečí jsou spolu úzce spjaty. Jestliže chceme rizika řídit, musíme znát či správně identifikovat zdroj nebezpečí jeho vlastnosti a především předpokládat následky tohoto jevu.

### **3.2. Proces řízení (managementu) rizik**

Management rizik je komplexní proces zahrnující více fází, které na sebe navazují a vytvářejí pomyslnou smyčku viz obrázek 21. Cílem řízení rizik je identifikace a kvantifikace rizik, kterým musí společnost čelit a především rozhodnutí o vhodném způsobu zvládání těchto rizik. Můžeme také říct, že se jedná o proces zahrnující činnosti sloužících k poznání, ohodnocení a minimalizaci rizik.

Je nutné, aby se management rizik vždy skládal z těchto částí:

- A) ANALÝZU RIZIK (risk analysis);
- B) HODNOCENÍ RIZIK (risk evaluation);
- C) ŘÍZENÍ RIZIK (risk control).



Obrázek 21 Proces managementu rizik [15]

Cílem managementu rizika je snížit regulovat, či zcela zabránit ztrátám na životě, onemocnění nebo zranění, ale také škodě na majetku a následné ztráty. Nedílnou součástí je také dopady rizika na životní prostředí.

Posuzování rizik zahrnuje hlavní prvky management rizik, které jsou doplněny o další prvky:

- Komunikace a konzultace
- Stanovení kontextu
- Posouzení rizik (identifikace rizik, analýza rizik a hodnocení rizik)
- Ošetření rizika
- Monitorování a přezkoumání

**a) Komunikace a konzultace [16]**

Komunikace a konzultace probíhá po celou dobu procesu managementu rizik. Činíme tak z toho důvodu, že každý zainteresovaný může mít jiný názor, jiné vnímání nebo zkušenost s danými riziky.

Jestliže zahrneme do procesu management rizik efektivní komunikaci a konzultaci se zainteresovanými stranami dosáhneme snadněji těchto cílů:

- zpracování komunikačního plánu
- správnému kontextu
- zahrnutí zájmů zainteresovaných stran
- spojení rozdílných oblastí odborných znalostí pro práci s riziky
- zohlednění všech hledisek vhodným způsobem
- dostatečné identifikaci rizik
- získání podpory a schválení plánu ošetření rizik

**b) Stanovení kontextu [17]**

Vnější a vnitřní parametry jsou nejdůležitější součástí stanovení kontextu. Následně se stanoví cíle a program posuzování rizik společně s kritérii rizik.

Pro stanovení kontextu je zapotřebí vymezit:

- základních parametrů pro řízení rizika
- rozsahu platnosti
- kritérií pro zbytek procesu

**c) Identifikace rizik**

Identifikace rizik je v podstatě proces, ve kterém je nutné odhalit a popsat veškerá možná rizika, jež s daným projektem souvisí.

Tato etapa se skládá ze tří základních kroků:

- příprava vstupních údajů do procesu identifikace
- zvolení správné metody identifikace (techniky induktivního uvažování, metody založené na důkazu, systematické týmové přístupy, atd.)
- provedení identifikace, sepsání seznamu rizik, popis rizik a předběžné návrhy na ošetření rizik



**d) Analýza rizik [17,18]**

Analýza rizik je systematické použití dostupných informací k identifikaci možného nebezpečí, odhadu rizika s ohledem na ochranu oprávněného zájmu společnosti z hlediska ochrany života, zdraví, majetku a životního prostředí.

Při analýze rizik se v podstatě snaží odpovědět na tři základní otázky:

Ident. nebezpečí a nežád. stavů	Co by se mohlo pokazit?
Analýza četností	S jakou pravděpodobností se to stane
Analýza následků	Jaké budou následky?

Je však zásadní si uvědomit, že analýza rizik (její postupy, metody a terminologie) samozřejmě podle typu oboru a konkrétním problému na kterém je řešena mění.

Metody analýzy rizika mohou být kvalitativní, kvantitativní anebo semikvantitativní.

Kvalitativní metoda popisuje pravděpodobnost a následek rizika stupnicemi a slovně (např. "vysoká", "střední" a "nízká" úroveň).

Kvantitativní analýza používá praktické hodnoty pro následky a jejich pravděpodobnosti a stanoví hodnoty úrovně rizika ve specifických jednotkách, které vyplívají z kontextu.

Semikvantitativní metody používají pro hodnocení následku a pravděpodobnosti numerické klasifikační stupnice. Stupnice mohou být logaritmické či lineární logaritmické, mohou však vyjadřovat také jiný vztah.

**e) Hodnocení rizik [4]**

Hodnocení rizik se zakládá na výstupech z analýzy rizik. Analýzy nám pomáhají rozhodnout se při porovnání úrovně těchto rizik (která rizika potřebují ošetření a která ne). Je však nutné stanovit si kritéria rizik při zohlednění kontextu, aby následně mohla být zvážena potřeba ošetření. Může se však také stát, že hodnocení rizik povede k opětovné analýze rizik či ošetření rizika jiným než způsobem, než je dosavadní opatření.

**f) Ošetření rizik**

Proces ošetření rizika zahrnuje výběr jedné či několika možností jak dané riziko ošetřit a následně jejich zavedení. Jedná se o cyklický proces, jež zahrnuje tyto etapy:

- Posouzení ošetření rizika
- Posouzení, zda hodnota zbytkového rizika je přijatelná
- Pro nepřijatelná se určí jiné ošetření
- Zhodnocení efektivnosti ošetření
- Možnosti pro ošetření rizik [9]:
  - vyvarování se rizika tím, že nezapočnu nebo ukončím činnost vyvolávající riziko
  - přijetí nebo zvýšení rizika kvůli dosažení příležitosti
  - eliminace zdroje rizika
  - změna možnosti výskytu
  - změna následků
  - sdílení rizika s jinou stranou nebo stranami
  - zachování rizika na základě informovaného rozhodnutí

**g) Monitorování a přezkoumávání [4]**

Jak proces monitorování, tak proces přezkoumání musí obsahovat všechny aspekty managementu rizik pro tyto účely:

- zajištění efektivních a účinných opatření
- nalezení většího množství informací pro zlepšení posouzení rizik
- analyzování a získání zkušeností (z událostí, změn, trendů, úspěchů a chyb)
- zjištění nových rizik

### **3.3. Metody analýzy rizik**

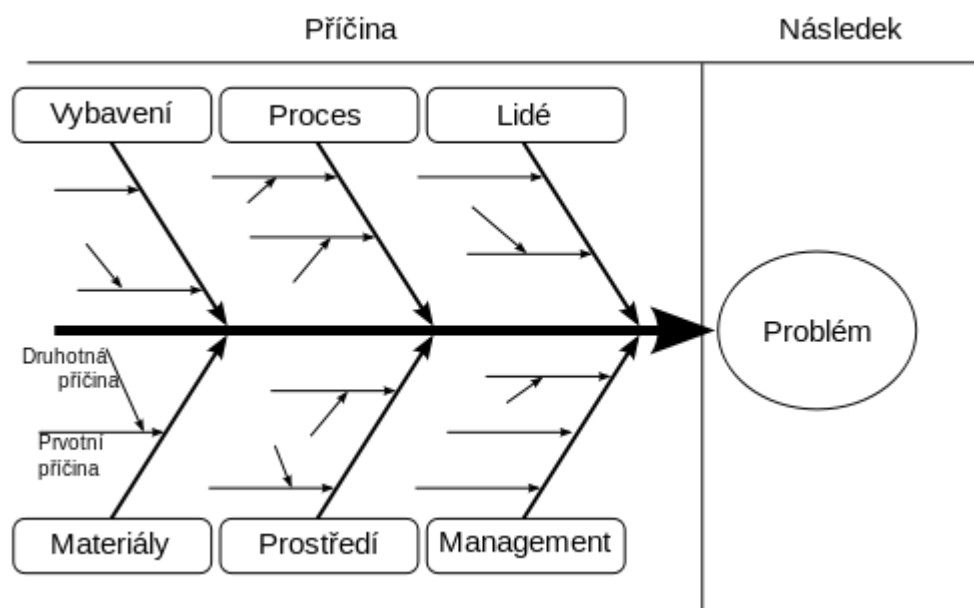
V dnešní době existuje celá řada metod pro analýzu rizik technologických systémů, které jsou vhodné pro identifikaci nebezpečí a odhadování rizika spolu s kritérii jejich volby. Obecně by mělo platit, že vhodná metoda má splňovat tyto kritéria:

- vhodná pro uvažovaný systém, být vědecky obhajitelná
- poskytovat výsledky tak, aby, bylo snazší pochopit povahu rizika a způsob, jak ho můžeme regulovat;
- způsobilá k tomu, aby ji mohli používat různí profesionálové a byla tedy sledovatelná, opakovatelná a ověřitelná.

#### **3.3.1. Analýza příčin a následků, Ishikawa diagram (Case and effect analysis)**

*„Analýza příčin a důsledků je strukturovaná metoda sloužící k identifikaci možných příčin nežádoucí události nebo problému. Pomocí ní jsou uspořádány možné přispívající faktory do obsáhlých kategorií, takže mohou být zohledněny všechny možné hypotézy. Sama o sobě však nepoukazuje na skutečné příčiny, protože tyto mohou být stanoveny pouze na základě skutečného důkazu a empirického testování hypotéz. Informace jsou seřazeny buď do diagramu typu rybí kost (také nazývaném Ishikawův), nebo do diagramu v podobě stromu.“ [17]*

Pro tvorbu Ishikawa diagramu je nutné vytvořit ‚expertní tým‘ (tým pracovníků, kteří jsou s problémem nějakým způsobem spjati či jsou daným problémem přímo dotčeni). Budeme-li postup simulovat tak, jak se běžně v praxi používá, vypadal by zhruba následovně: Tým si sedne ke kulatému stolu, uprostřed stolu leží papír, který má uprostřed vodorovnou čáru, jež na pravé straně končí hlavním problémem. Na ní tým naváže větvemi (kostmi), které reprezentují oblasti, ve kterých se možné příčiny hledají. Mezi hlavní oblasti patří: lidé, stroje, metody materiál, měření a prostředí. Definují se základní příčiny a připojí se k jednotlivým kostem. Pro možnou představu je možné nahlédnout do vzoru diagramu (obrázek 22). Z výše uvedeného postupu je zřejmé, že je tato metoda řešena formou tzv. brainstormingu.



Obrázek 22 Vzor Ishikawa diagramu [20]

### 3.3.2. Analýza možností vzniku vad a jejich následků FMEA

Analýza FMEA (Failure Mode and Effect Analysis, analýza možného výskytu a vlivu vad) je uspořádaný nástroj, jež umožňuje systematicky analyzovat slabé části systému, konstrukce nebo procesu, ještě před její samotnou realizací. Předejdeme tak neočekávaným nesnázím při samotném provádění. Vždy je lepší předcházet rizikům a vadám v dopředu, než je posléze odhalovat a eliminovat například finančními náklady na následky poruch. Metodu můžeme také pojmout úspornou podobu eliminace a ochrany. Expertní analýza FMEA by se měla vytvářet za pomoci expertního týmu. [21]

Postupy pro metodu FMEA jsou standardizovány normou ČSN IEC 812. Metoda by měla být relativně dobře použitelná pro analýzu rizik při výstavbě stínících konstrukcí lékařských ozařovačů. Vychází z určité konstrukční úrovně prvku nebo systému, pro niž jsou k dispozici kritéria poruchy (prvotní způsoby poruch). [23]

Metoda má také svá rozšíření a to sice kritičnost poruchy. Analýza kritičnosti identifikovaných způsobů poruch je nazývána FMECA. Závažnost následků poruchy se popisuje kritičností, je tedy stanoveno několik tříd nebo úrovní kritičnosti.

Obě zmíněné analýzy se skládají ze stejných etap:

- analýza současného stavu;
- hodnocení současného stavu;
- návrh preventivních opatření;
- hodnocení stavu po provedení opatření.

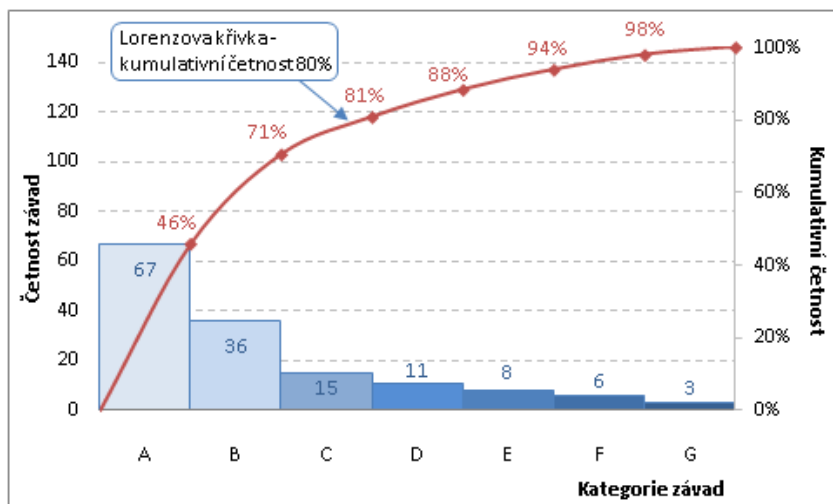
Dle zmiňované metody FMEA je zřejmé, že bude právě tou metodou, která bude pro analýzu rizik použita pro analýzu rizik při výstavbě stínících zařízení.

### 3.3.3. Paretův diagram

Paretův diagram neboli také Paretova analýza je pojmenována po politologovi, ekonomovi a sociologovi, který v roce 1897 popsal problém nerovnoměrného rozdělení bohatství v zemi: 80 % bohatství země je spravováno pouze 20 % populace v této zemi. Od tohoto tvrzení Vilfreda Frederica Damasa Pareta se odvozuje Paretovo pravidlo – Pravidlo 80/20, které říká: „Za 80 % důsledků (problémů) je zodpovědno zhruba 20 % nejdůležitějších příčin“.

Paretova pravidla se v praxi prezentují histogramem, který zobrazuje jednotlivá rizika seřazena v klesajícím pořadí podle významnosti. Diagram doplňuje Lorenzova křivka. Tato křivka představuje kumulativní četnost, díky níž můžeme oddělit příčiny, které mají největší vliv na následky (pomyslnou nebo reálnou svislou čárou v 80 %). [22,25]

Paretův diagram je velmi důležitým nástrojem pro stanovení priorit při eliminaci rizika. Diagram je nám nápomocný při pochopení podstatu jevů a zároveň nám pomáhá oddělit méně podstatná ovlivnění problému, právě od těch podstatných. Díky tomu jsme tedy schopni určit nejdůležitější nositele problémů v systému. [14]



Obrázek 23 Vzor Paretova diagramu [25]

## **4. APLIKACE RIZIKOVÝCH ANALÝZ**

### **4.1. Shrnutí problematiky**

V analýze rizik se budeme zabývat procesem návrhu a výstavby stínících zařízení lékařských ozařovačů. Pro konkrétní případ budeme vycházet z návrhu stínících konstrukcí ozařovače v Masarykově onkologickém ústavu na Žlutém kopci v Brně.

Pro sestavení návrhu bylo nutné znát typ lineárního urychlovače, jež bude v ozařovně používán. Dle typu lineárního urychlovače je následně možné stanovit energii a příkon záření, na které bude stínění dimenzováno. Při dimenzování stínících stěn ozařovny je nutno vycházet z vnitřních půdorysných rozměrů. Jako stínicí materiál je uvažován obyčejný a barytový beton. Výsledkem výpočtu je navržená tloušťka stínicí konstrukce. Tloušťku navržené konstrukce je nutné ještě jednou ověřit výpočtem. [26]

Před samotnou výstavbou stínicí konstrukce je nutné vypočítat také stínění proti neutronovému záření na dveřích (pláty olova), přívodu vzduchotechniky (labyrint ve tvaru písmena Z). [26]

Při výrobě stínících betonu je nutné dodržet technické požadavky (fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti). Jelikož se jedná o takto důležitý prvek, je opravdu nutné striktně dodržovat veškeré požadavky. Jedná se především o:

- Objemová hmotnost (nahrazení normálního kameniva barytovým)
- Objemová vlhkost (část vody na hydrataci, část se odpaří, ale část zůstává jako volná i vázaná voda v betonu; při výpočtu se obsah vody zohledňuje)
- Pevnost v tlaku (dána soudržností cementu s plnivem, pevností kameniva)
- Obyčejné i barytové betony jsou navrženy jako čerpatelné [26]

Při samostatné výstavbě stínícího zařízení je nutné dodržet technologický postup, jež byl pro daný stínící prvek stanoven v technické zprávě. Jedná se zejména o tyto faktory:

- Ukládání a hutnění betonové směsi (plynule ve vodorovných vrstvách aby nedocházelo k rozměšování; dokonalé spojení jednotlivých vrstev; bez přerušení řádné hutnění betonové směsi ponorným vibrátorem)
- Kontrola objemové hmotnosti čerstvých betonových směsi (nutná nepřetržitá kontrola v průběhu betonáže pomocí radiačních hustoměrů ; před betonáží je nutné zhotovit kalibrační vzorek)
- Ošetření betonu (průměrná denní teplota, vlhkost směsi; začít s kropením ihned, jakmile beton nevyplavuje cement; ochrana tuhnoucího a tvrdnoucího před nárazy a otřesy, klimatickými vlivy) [26]

#### **4.2. Ishikawa diagram**

Analýzy příčina následků jsou rozděleny na tři části:

- Návrh a optimalizace stínící konstrukce
- Výstavba stínící konstrukce
- BOZP při výstavbě a v důsledku chybné výstavby

V analýze jsou uvedeny vždy minimálně čtyři (maximálně šest) kategorií, ve kterých hledáme možná nebezpečí, jež mohou nastat. Výstup z analýzy bereme jako návod a podklad pro určování možných rizik, které jsou podkladem pro další analýzy jako FMEA apod. Kategorie, které se objevují v těchto analýzách, jsou následující:

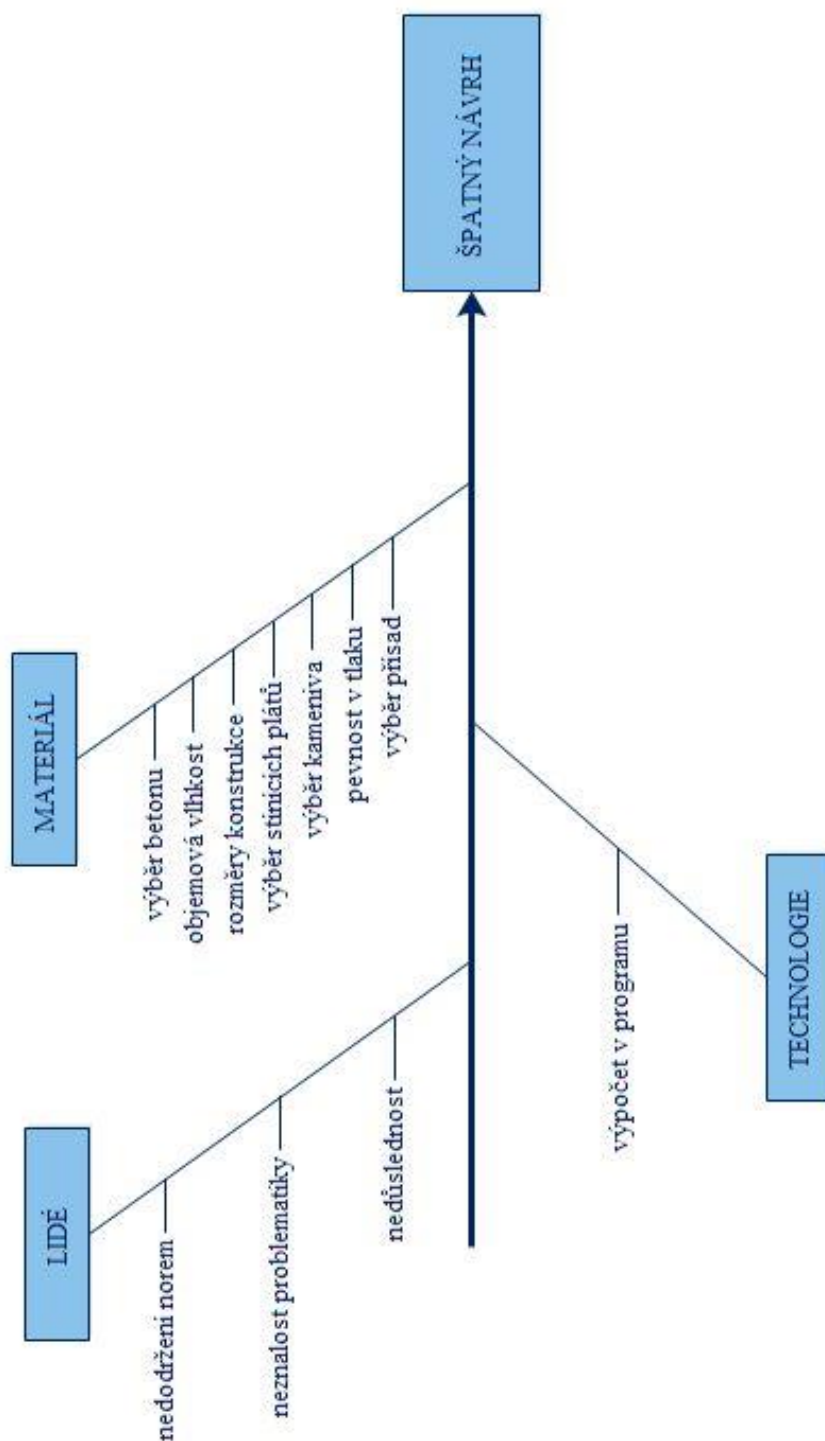
- |             |            |
|-------------|------------|
| - Metody    | - Stroje   |
| - Měření    | - Lidé     |
| - Prostředí | - Materiál |

V analýze na obrázku 24 jsou možné důsledky zaměřeny na návrhovou část stínící konstrukce. Jako možné příčiny v návrhu jeví především nesprávný návrh materiálu. Jedná se především o výběr betonu, přísad, kameniva, přísad, stanovení pevnosti v tlaku, objemové hmotnosti, objemové vlhkosti, stanovení rozměru konstrukce. Z technologického hlediska je při samotném návrhu možné selhání výpočtu v softwaru (neověření správnosti výsledku, překlep v zadání stávajících hodnot). Z výše uvedeného však vyplývá, že největší možnou příčinou selhání je lidský faktor, jedná se především o nedůslednost ve výpočtu, neznalost problematiky, nedodržení normy.

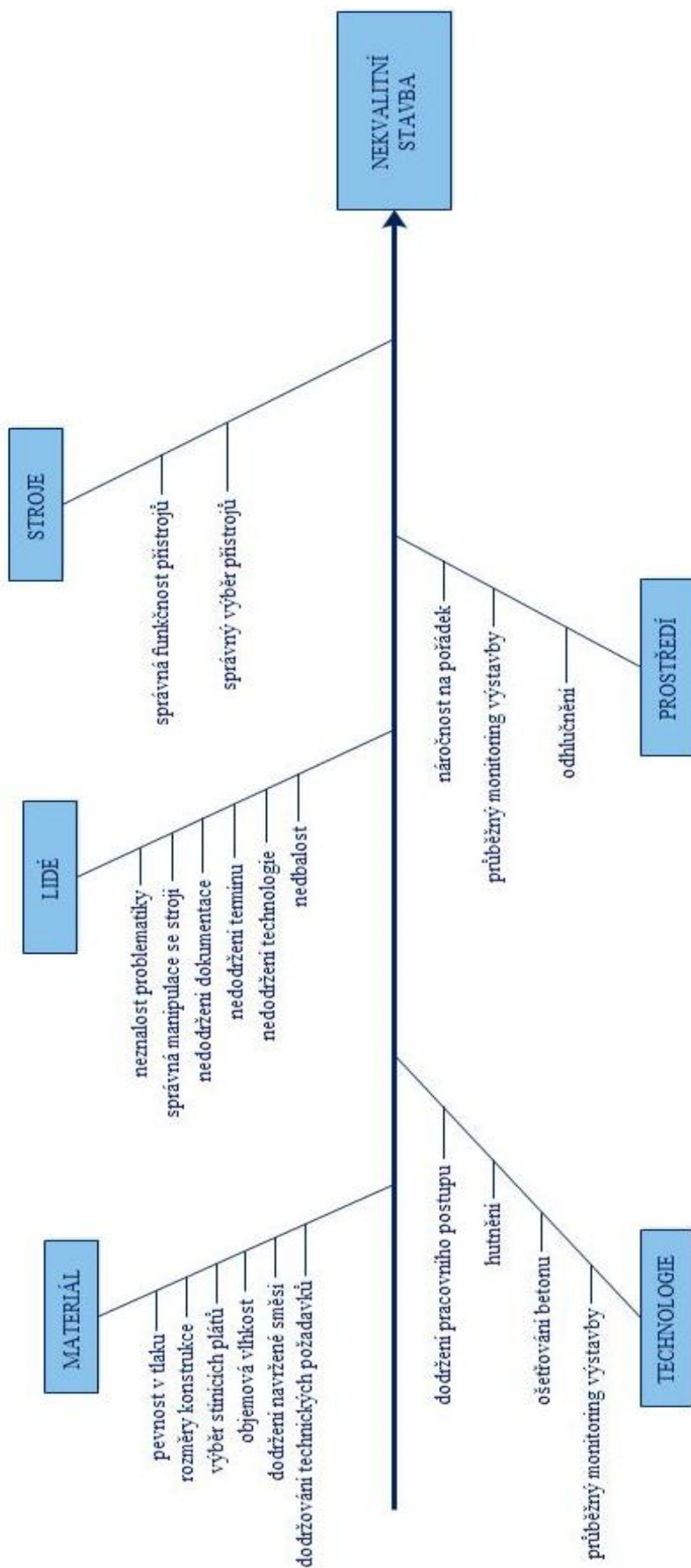
Analýza, jež je znázorněna na obrázku 25 je výčet možných důsledků soustředěn na samotný průběh výstavby stínící konstrukce. Špatnou příčinou stavebního díla (nekvalitní stavby) se jeví z hlediska materiálu samozřejmě nedodržení navrhované směsi a jednotlivých složek směsi, jež následně souvisí s mechanickými, chemickými i fyzikálními vlastnostmi (dodržení technických požadavků, objemová vlhkost, volba stínících plátů, pevnost v tlaku, atd.). Z technologického hlediska možné příčiny nedodržení pracovního postupu, správné hutnění, ošetření betonu a také celou výstavbu průběžně kontrolovat. Vzhledem k tomu, že výstavba probíhá v nemocničním prostředí, měla by být stavba odhlučněna a zároveň by měly být dodrženy určité hygienické podmínky. Pokud se tak nestane, můžeme tyto příčiny také označit jako možné pro daný důsledek. Jestliže se budeme souhrnně bavit o lidském faktoru, hrají lidé v možném výčtu příčin také svou roli. Může se jednat zejména o neznalost problematiky, nedodržení dokumentace, nedbalost, nedodržení termínu výstavby, nesprávná manipulace se stroji, atd. Nesprávný výběr techniky společně s jejich nesprávným použitím mohou důsledek nekvalitní stavby taktéž zapříčinit.

Třetí analýza, v níž se zabýváme BOZP v průběhu výstavby a v důsledku špatné výstavby na obrázku 26 se zabývá příčinami z oblasti materiálu, lidí, strojů a technologie. Bezpochyby můžeme říct, že největší výčet příčin je právě v kategorii lidé. Jedná se o uraz el. proudem, nedodržení bezpečnostních předpisů, kolize se stroji, nesprávné nošení ochranného oděvu, obuvi či ochranných pomůcek, nedbalost atd.. Z hlediska techniky, tedy strojů se může jednat o chybnou kalibraci hustoměru, porucha používaných zařízení a v neposlední řadě příčinou pro újmu na zdraví v provozu ozařovny porucha ozařovače. V době užívání zařízení může však také nastat selhání technologie při skladování ZIZ či právě při nedodržení bezpečnostních předpisů.

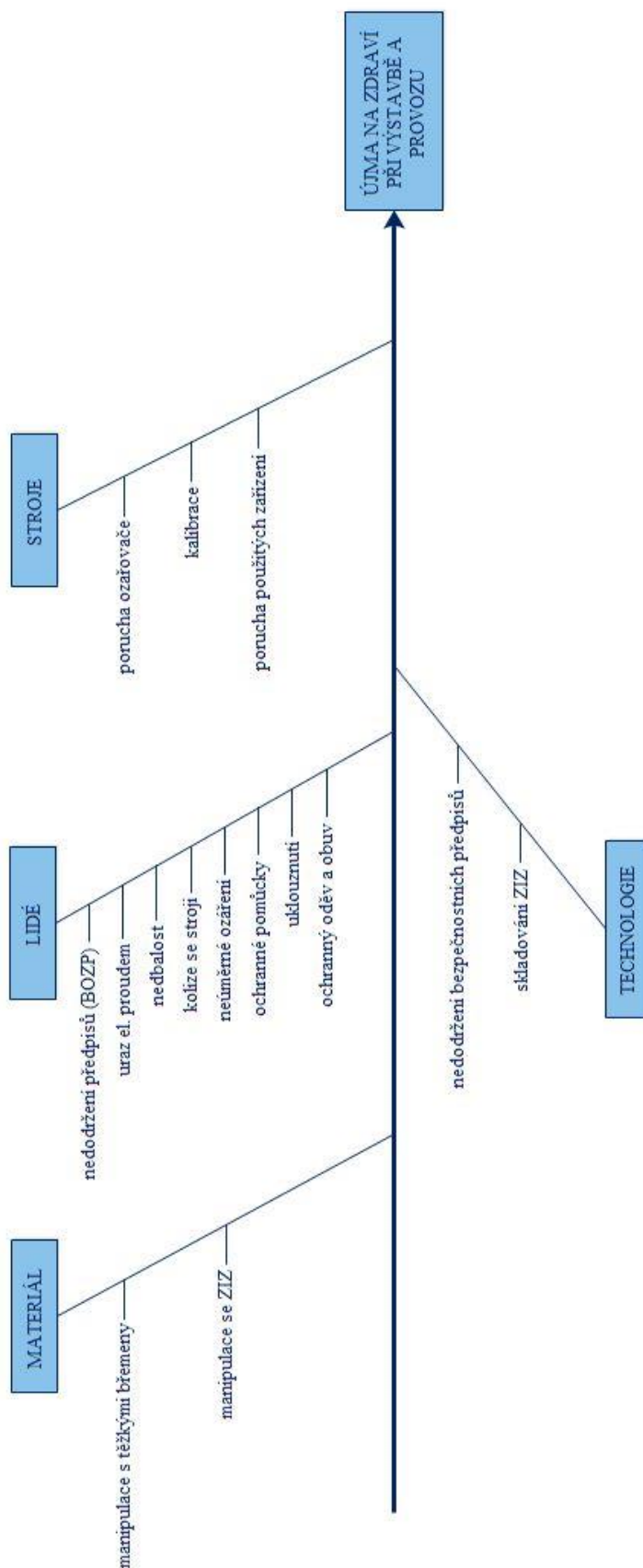




Obrázek 24 Analýza typu Rybí kost pro návrh stínící konstrukce



Obrázek 2.5 Analýza typu rybí kost pro realizaci výstavby stínící konstrukce



Obrázek 26 Analýza typových rizik pro oblast BOZP

### **4.3.FMEA**

Za užitý analýzy FMEA, byly ohodnoceny a následně i eliminovány jednotlivá rizika z daných oblastí jejich původu. Jedná se především o rizika kvantitativní, environmentální a bezpečnostní. Do analýzy byly zahrnuty ta rizika, jejichž hrozba je reálná. Pro hodnocení rizik byly sestaveny tyto tabulky:

Tabulka 2 - Hodnocení pravděpodobnosti výskytu daného rizika (Zdroj: vlastní zpracování)

<b>HODNOCENÍ PRAVDĚPODOBNOSTI VÝSKYTU</b>	
Parametr	Popis parametru
5	<b>Velmi vysoká</b> – velmi častý výskyt příčiny vady; nepoužitelný, nevhodný proces
4	<b>Vysoká</b> – příčina vady se opakovaně vyskytuje; nepřesný proces
3	<b>Střední</b> – občasný výskyt příčiny vady; méně přesný proces
2	<b>Malá</b> – výskyt příčiny vady je malý; přesnější proces
1	<b>Velmi malá</b> – výskyt příčiny vady je nepravděpodobný

Tabulka 3 - Hodnocení významu - závažnosti (Zdroj: vlastní zpracování)

<b>HODNOCENÍ VÝZNAMU - ZÁVÁŽNOSTI</b>	
Parametr	Popis parametru
5	<b>Velmi velký</b> – bezpečnostní riziko; nesplnění technologického postupu
4	<b>Velký</b> – kvalita je silně podprůměrná, nutná okamžitá náprava; funkční omezení důležitých dílčích systémů
3	<b>Střední</b> – kvalita podprůměrná; není nutná okamžitá oprava; jsou omezeny funkce systémů obsluhy a pohodlí
2	<b>Malý</b> – kvalita dobrá; stačí příště dodržet jiný (přesný) postup; omezení funkce systémů obsluhy a pohodlí
1	<b>Velmi malý</b> – velmi malé riziko výskytu

Tabulka 4 - Hodnocení pravděpodobnosti odhalení (Zdroj: vlastní zpracování)

HODNOCENÍ PRAVDĚPODOBNOSTI ODHALENÍ	
Parametr	Popis parametru
5	<b>Velmi malá</b> – odhalení působící příčiny je nepravděpodobné; příčina vady není nebo nemůže být kontrolována
4	<b>Malá</b> – odhalení působící příčiny je málo pravděpodobná; pravděpodobně neodhalitelné příčiny vady; nejisté kontroly
3	<b>Střední</b> – odhalení působící příčiny je pravděpodobné; kontroly jsou poměrně spolehlivé
2	<b>Vysoká</b> – odhalení působící příčiny je velmi pravděpodobné; kontroly jsou spolehlivé
1	<b>Velmi vysoká</b> – působící příčiny jsou jistě odhaleny

V samotné analýze, která je znázorněna v tabulce 5 Analýza FMEA pro návrh a výstavbu (kvalitativní oblast) jsou řazena rizika v oblasti kvalitativní. Oblast je rozdělena na dvě části: část návrhu K-N-01 až K-N-09 a část realizační (výstavba), tedy K-V-01 až K-V-10.

V návrhové části se jeví jako největší riziko chybný výpočet programu a tzv. lidský faktor s RPN= 64. Eliminací těchto rizik je kontrolní výpočet či zapojení další osoby do výpočtu. RPN se tak eliminuje na polovinu, tedy 32. Mezi další závažná rizika patří špatná identifikace vstupních dat, chybné stanovení technických parametrů a špatný výběr stínících plátů s RPN= 60. Jako eliminace je navržena kontrola dat a opět vypracování návrhu dvěma pracovníky.

Analýzou se povedlo celkové původní RPN snížit ze 476 na 288. Mohli bychom shrnout, že jako hlavní opatření je tedy opravdu důležitá řádná znalost problematiky, důslednost a v rámci výpočtu provádění více osobami pro možné porovnání či kontrolu výsledků.

Když se přesuneme v tabulce 5 do její druhé poloviny, je evidentní, že je největším rizikem pro správnou funkčnost konstrukce špatné ukládání a hutnění směsi se svým RPN= 60. Pokud však zvýšíme pracovní dozor a dohlédneme na dodržení technologie, snížíme toto riziko o třetinu. Jako další významná rizika se jeví nedostatečné ošetření betonu, nedodržení navržené směsi, nedodržení technických požadavků a pracovního postupu či nesprávná manipulace se stroji. Vesměs všechna rizika, jež jsou zde kvalifikována je možné

eliminovat správným proškolením pracovníků a zvýšenou kontrolou v průběhu celé výstavby. Zmíněnými opatřeními jsme schopni eliminovat RPN z 318 na 196.

Tabulka 6 Analýza FMEA pro environment a bezpečnost jak již název napovídá začíná oblastí environmentu. Vzhledem k dnešní době je tato část analýzy její nezbytnou součástí. Je nutné zabránit většímu zásahu či ohrožení životního prostředí. V této analýze je zahrnuto riziko z průběhu výstavby, tak i z užívání ozařovny po výstavbě. Jako nejzávažnější byly klasifikovány rizika nevhodného nakládání s odpady a únik ze ZIZ. Abychom zamezili či eliminovali výskyt těchto rizik, je navrženo opatření důkladného proškolení na související zákony a vyhlášky. Z celkového RPN=181 se nám při navrhovaném opatření jako je důkladné proškolení pracovníků, použití kvalitních prachových a zvukových bariér podařilo snížit RPN na téměř polovinu, tedy 94.

Poslední analyzovanou oblastí byla bezpečnost, tedy spodní část tabulky 6. Jako jedny z nejzávažnějších rizik byly klasifikovány ohrožení zdraví a života osob na pracovišti, úraz elektrických proudem, úraz v důsledku poruchy používaných strojů/zařízení či výskyt nepovolané osoby na pracovišti. Krok eliminace, jež byl navržen je důkladné značení pracoviště, proškolení na BOZP a pravidelná kontrola zařízení, s nimiž se dělník dostane do styku. Celkově bychom mohli shrnout, že pokud budou pracovníci řádně oděni, budou používat správné ochranné pomůcky, bude jim zajištěn patřičný dozor a budou obezřetní, dokážeme celkové RPN= 234 eliminovat na méně než polovinu, tedy 224.



Proces	Označení rizika	Popis rizika	Důsledky	Závažnost (účinek)	Bodý	Výskyt (PPST)	Bodý	Možná příčina	Odhalení	Bodý	RPN <sub>0</sub>	RPN ≥ 8	Opatření	Závažnost	Bodý	Výskyt	Bodý	Odhalení	Bodý	RPN				
KVALITA	K-N-01	špatný výběr betonu	malé stínění, únosnost	vysoký	4	střední	3	nedostatečná zkušenost/ chyba ve výpočtu	malá	4	48	ano	vypracování návrhu dvěma odborníky	vysoký	4	malá	2	malá	4	32				
	K-N-02	špatný výběr kameniva	malé stínění, únosnost	vysoký	4	střední	3	nedostatečná zkušenost/ chyba ve výpočtu	malá	4	48	ano	vypracování návrhu dvěma odborníky	vysoký	4	malá	2	malá	4	32				
	K-N-03	špatný výběr přísad	malé stínění, únosnost	vysoký	4	střední	3	nedostatečná zkušenost/ chyba ve výpočtu	malá	4	48	ano	vypracování návrhu dvěma odborníky	vysoký	4	malá	2	malá	4	32				
	K-N-04	špatný výběr stínících plátů	chybné nadimenzování konstrukce	velmi vysoký	5	střední	3	nedostatečná zkušenost/ chyba ve výpočtu	malá	4	60	ano	kontrola výpočtu	velmi vysoký	5	malá	2	malá	4	40				
	K-N-05	chybné stanovení technických parametrů	malé stínění, únosnost	velmi vysoký	5	střední	3	nedostatečná zkušenost/ chyba ve výpočtu	malá	4	60	ano	kontrola dat	velmi vysoký	5	malá	2	malá	4	40				
	K-N-06	chybný výpočet programu	chybné nadimenzovaná konstrukce	vysoký	4	vysoká	4	softwarová chyba	malá	4	64	ano	ověření výsledků ručním výpočtem	vysoký	4	malá	2	malá	4	32				
	K-N-07	lidský faktor	chybné stanovený návrh (chyba u přepsání hodnot, přehlédnutí)	velmi vysoký	4	vysoká	4	nedůslednost a neznalost pracovníka	malá	4	64	ano	zvýšená opatrnost/ preciznost	velmi vysoký	4	malá	2	malá	4	32				
	K-N-08	nedodržení termínu	pozdržení výstavby/ možné sankce	malý	2	střední	3	chybné rozvržení projektu	malá	4	24	ano	průběžná kontrola harmonogramu	malý	2	velmi malá	1	malá	4	8				
	K-N-09	špatná identifikace vstupních dat	chybné nadimenzovaná konstrukce	velmi vysoký	5	střední	3	nedbalost	malá	4	60	ano	kontrola vstupních dat (ověření ozařovače, jež bude v ozařovně použit)	velmi vysoký	5	malá	2	malá	4	40				
											Σ	476											Σ	288
	K-V-01	nedodržení navržené směsi	nedostatečné stínění konstrukce, únosnost	vysoký	4	střední	3	nedostatečná kontrola hustoměrem	malá	3	36	ano	kontrola každého vzorku kalibrovaným hustoměrem	vysoký	4	velmi malá	1	malá	4	16				
	K-V-02	nedodržení technických požadavků a pracovního postupu	nedostatečné stínění konstrukce, únosnost	vysoký	4	střední	3	nedostatečná kontrola/ dozor	střední	3	36	ano	důkladné proškolení pracovníků	vysoký	4	malá	2	střední	3	24				
	K-V-03	neznalost problematiky	chybné postavená konstrukce	střední	3	malá	2	výběr nekvalifikovaného pracovníka/ nedostatečné proškolení	střední	3	18	ano	důkladné proškolení pracovníků	střední	3	velmi malá	1	střední	3	9				
	K-V-04	nedodržení dokumentace	nedostatečné stínění konstrukce, únosnost	velmi vysoký	5	malá	2	nedostatečná kontrola/ dozor	střední	3	30	ano	zvýšený stavební dozor	velmi vysoký	5	velmi malá	1	střední	3	15				
	K-V-05	nedodržení technologie	nedostatečné stínění konstrukce, únosnost	vysoký	4	střední	3	nedostatečná kontrola/ dozor	vysoká	2	24	ano	zvýšený stavební dozor	vysoký	4	velmi malá	1	vysoká	2	8				
	K-V-06	nedodržení termínu	finanční újma/pokuta	malý	2	střední	3	špatný timing/ nedostatečná kontrola dodržení harmonogramu	střední	3	18	ano	průběžná kontrola harmonogramu	malý	2	malá	2	střední	3	12				
	K-V-07	nesprávná manipulace se stroji	nekvalitní konstrukce či její část, nedostatečné stínění	střední	3	střední	3	nedostatečné proškolení	střední	3	27	ano	důkladné proškolení pracovníků	střední	3	malá	2	střední	3	18				
	K-V-08	nedostatečný monitoring výstavby/ vedení stavebního deníku	nekvalitní výstavba	vysoký	4	malá	2	nezodpovědnost/ nedostatečný počet vedoucích pracovníků	střední	3	24	ano	zvýšení počtu vedoucích pracovníků	vysoký	4	malá	2	střední	3	24				
	K-V-09	nedostatečné ošetřování betonu	nedostatečné stínění konstrukce, únosnost	velmi vysoký	5	střední	3	nedostatečné proškolení	střední	3	45	ano	zvýšený stavební dozor	velmi vysoký	5	malá	2	střední	3	30				
	K-V-10	špatné ukládání a hutnění směsi	nedostatečné stínění konstrukce, únosnost	velmi vysoký	5	střední	3	nedostatečné proškolení	malá	4	60	ano	zvýšený stavební dozor	velmi vysoký	5	velmi malá	2	malá	4	40				
										Σ	318											Σ	196	

Tabulka 5 - Analýza FMEA pro návrh a výstavbu (kvalitativní oblast)

Proces	Označení rizika	Popis rizika	Důsledky	Závažnost (účinek)	Body	Výskyt (pravdě - podobnost)	Body	Možná příčina	Odhalení	Body	RPN <sub>0</sub>	RPN ≥ 8	Opatření	Závažnost	Body	Výskyt	Body	Odhalení	Body	RPN		
ENVIRONMENT	E-01	nevhodné nakládání s odpady	kontaminace půdy a spodní vody	velmi vysoký	5	vysoká	4	špatné zpracování odpadu	vysoká	2	40	ano	proškolení na předpisy a normy související se Zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů	velmi vysoký	5	malá	2	vysoká	2	20		
	E-02	prach	znečištění ovzduší	střední	3	střední	3	nedostatečné prachové bariéry	střední	3	27	ano	zajištění prachové bariéry	střední	3	malá	2	střední	3	18		
	E-03	hluk	negativní společenský vliv (rušení okolních pracovišť)	střední	3	střední	3	nedostatečné hlukové bariéry	střední	3	27	ano	zajištění zvukové bariéry	střední	3	malá	2	střední	3	18		
	E-04	únik ze ZIZ	zvýšená hodnota ozáření v ovzduší	velmi vysoký	5	střední	3	neodborná manipulace se ZIZ	malá	4	60	ano	důkladné proškolení pracovníků	velmi vysoký	5	velmi malá	1	malá	4	20		
	E-05	neefektivní způsob dopravy materiálu	vyšší spotřeba, emise (pokud přepravce dopraví více materiálu, než bylo poptáváno)	střední	3	střední	3	neefektivní využití materiálu	střední	3	27	ano	zlepšení komunikace mezi zadavatele zakázky a dodavatelem	střední	3	malá	2	střední	3	18		
										Σ	181										Σ	94
BEZPEČNOST	B-01	ohrožení zdraví a života osob na pracovišti	úraz, smrt	velmi velký	5	střední	3	nedostatečné proškolení BOZP	střední	3	45	ano	důkladné školení BOZP	velmi velký	5	malá	2	střední	3	30		
	B-02	uraz el. proudem	popáleniny, šok, smrtelný úraz	velmi velký	5	střední	3	nedostatečné proškolení BOZP	střední	3	45	ano	důkladné školení BOZP	velmi velký	5	malá	2	střední	3	30		
	B-03	propíchnutí chodidla	pracovní neschopnost	vysoký	4	střední	3	nevhodná obuv	střední	3	36	ano	důkladné školení BOZP/ zdůraznění nutnosti používat pracovní oděv a pracovní obuv	vysoký	4	malá	2	střední	3	24		
	B-04	zranění v důsledku kolize se stroji	pracovní neschopnost, úraz, smrt	velmi velký	5	střední	3	ochranné pomůcky	střední	3	45	ano	důraz na obezřetnost při práci	velmi velký	5	malá	2	střední	3	30		
	B-05	uklouznutí	úraz, smrt	velmi velký	5	střední	3	nevhodná obuv, nedostatečný úklid na pracovišti	střední	3	45	ano	důraz na obezřetnost při práci	velmi velký	5	malá	2	střední	3	30		
	B-06	úraz v důsledku poruchy používaných strojů/zařízení	úraz, smrt, pracovní neschopnost	velmi velký	5	střední	3	nedostatečná revize strojů/zařízení	střední	4	60	ano	pravidelná kontrola strojů/zařízení	velmi velký	5	velmi malá	1	střední	4	20		
	B-07	výskyt nepovolané osoby na pracovišti	úraz, smrt	velmi velký	5	střední	3	nedostatečné značení stavby/oddělení od běžného chodu nemocnice	střední	3	45	ano	dostatečné vyznačení pracoviště	velmi velký	5	malá	2	střední	3	30		
	B-08	úraz v důsledku manipulace s těžkými břemeny	úraz, pracovní neschopnost	vysoký	4	střední	3	nezajištění potřebné techniky	střední	3	36	ano	důkladné školení BOZP, fasování ochranných pomůcek	vysoký	4	malá	2	střední	3	24		
	B-09	nadýchání prachu při demolici	dýchací problémy	vysoký	4	střední	3	práce bez respirátorů	střední	3	36	ano	důkladné školení BOZP, fasování ochranných pomůcek	vysoký	4	malá	2	střední	3	24		
	B-10	poranění při práci s pomůckami	úraz	střední	3	střední	3	špatné zacházení	střední	3	27	ano	důraz na obezřetnost při práci s pomůckami	střední	3	malá	2	střední	3	18		
	B-11	špatná manipulace s ZIZ	ozáření obsluhy či osob v blízkosti ozařovače	velmi velký	5	malá	2	chybná manipulace se zařízením/ neodstatečné proškolení	střední	3	30	ano	odborné zaškolení obsluhy ozařovače	velmi velký	5	malá	2	střední	3	30		
	B-12	neúměrné ozáření pacienta	zdravotní komplikace	velmi velký	5	malá	2	chybná manipulace se zařízením/ neodstatečné proškolení	střední	3	30	ano	odborné zaškolení obsluhy ozařovače	velmi velký	5	malá	2	střední	3	30		
	B-13	porucha ozařovače	ozáření obsluhy či osob v blízkosti ozařovače	velmi velký	5	střední	3	nedostatečná kontrola zařízení	vysoká	2	30	ano	pravidelná kontrola zařízení	velmi velký	5	velmi nízká	1	vysoká	2	10		
	B-14	Narušení chodu nemocnice	úraz, hygienické problémy	vysoký	4	střední	3	nedostatečné oddělení prostor výstavby	vysoká	2	24	ano	vyznačení prostoru stavby a poučení dělníků o nutnosti zdržovat se pouze ve vyznačeném prostoru	vysoký	4	velmi malá	1	vysoká	2	8		
									Σ	534										Σ	224	

Tabulka 6 - Analýza FMEA pro environment a bezpečnost



#### **4.4. Paretův diagram**

Jak již bylo zmíněno v obecném popisu Paretova diagramu, vycházíme v jejich sestavování z hodnot RPN (po ošetření) a označení rizik z analýzy FMEA (viz výše).

V histogramu jsou rizika seřazena od největšího po nejmenší. Pro lepší názornost jsou barevně odlišena tmavě modrou barvou levá strana, která nám určuje 80% důsledků (sledovaná část). Fialová křivka je tzv. Lorenzovou křivkou a značí kumulativní četnosti. Diagramy jsou koncipovány stejně jako analýza FMEA, tedy rozděleny do 4 úseků. Jednotlivými diagramy se budeme zabývat v popisu níže.

V diagramu 4, který se zabývá vyhodnocením rizik při návrhu konstrukce, si můžeme všimnout, že rizika s největším významem jsou: špatný výběr stínících plátů (K-N-04), chybné stanovení technických parametrů (K-N-05), špatná identifikace vstupních dat (K-N-09), špatný výběr betonu (K-N-01), špatný výběr kameniva (K-N-02), špatný výběr přísad (K-N-03). Tato rizika ovlivňují celkovou funkčnost a podstatu návrhu konstrukce. Je však zřejmé, že například nedodržení termínu návrhu natolik neovlivní jeho kvalitu. Je tedy zřejmé, že důslednost a dohled na správných vstupních i výstupních hodnotách je nejdůležitější, jako doporučení opět uvádím vypočet stanovený dvěma nezávislými pracovníky.

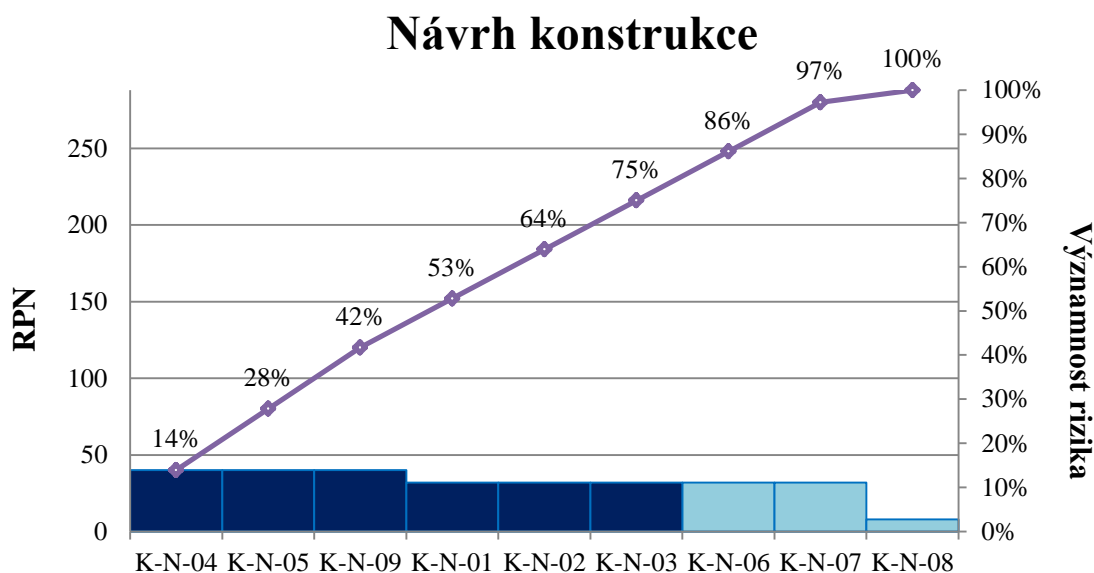


Diagram 4 - Paretův diagram pro návrh stínící konstrukce

Při samotné výstavbě, tedy v diagramu 5 je znázorněno hodnocení rizik při samotné výstavbě. I po eliminaci rizik jsou za ta nejpodstatnější považována tato: špatné ukládání a hutnění směsi (K-V-10), nedostatečné ošetřování betonu (K-V-09), nedodržení technických požadavků a pracovního postupu (K-V-02), nedostatečný monitoring výstavby/vedení stavebního deníku (K-V-08), nesprávná manipulace se stroji (K-V-07) a nedodržení navržené směsi (K-V-01). Nedůslednost a nedostatečná kontrola jsou tedy nejčastějším důvodem vzniku rizika. Z analýzy je tedy evidentní, že monitoring a kvalifikace pracovníků jsou nejdůležitějšími faktory.

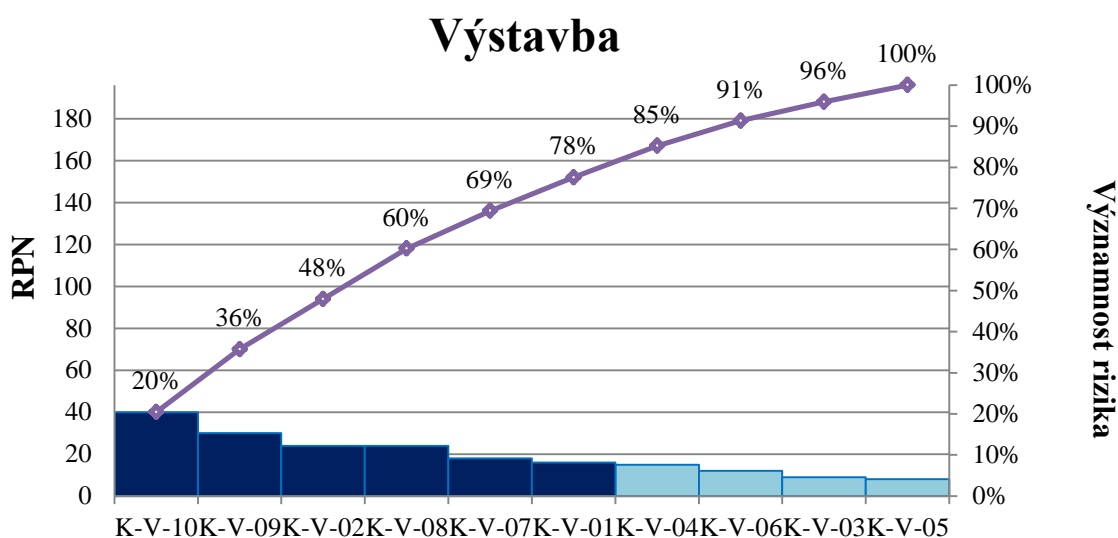


Diagram 5 -Paretův diagram pro výstavbu stínící konstrukce

Z hlediska environmentálního se i po eliminaci jeví jako největší riziko únik ozáření ze zdroje ionizačního záření (E-04) a nevhodné nakládání s odpady (E-01). Vzhledem k současnému sledování těchto aspektů je nezbytně nutné, aby byly všechny odpovědné osoby proškoleny na příslušné zákony a související vyhlášky.

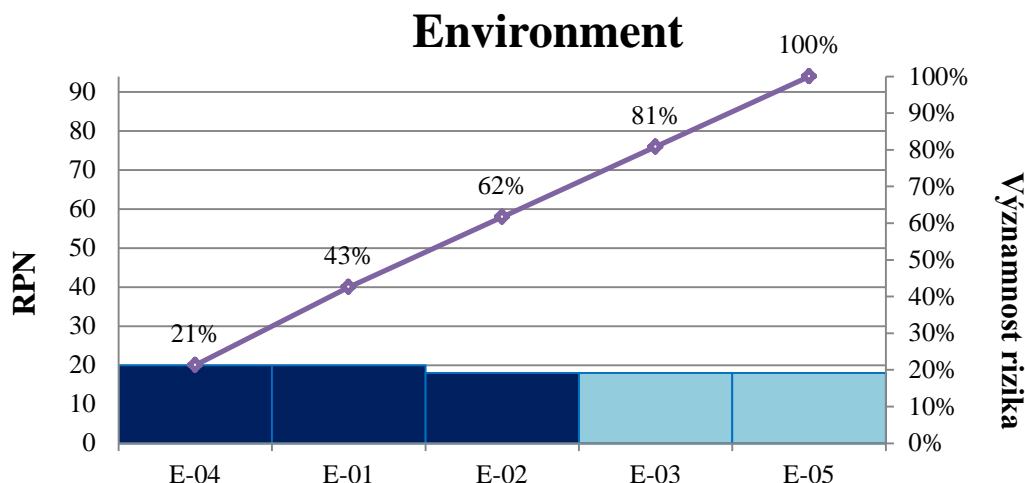


Diagram 6 - Paretův diagram pro návrh stínící konstrukce

V diagramu číslo 7 je znázorněn Paretův diagram pro oblast bezpečnosti. V oblasti bezpečnosti jsme se zabývali jak riziky při výstavbě tak i riziky, jež mohou nastat v důsledku nekvalitní výstavby či právě při provozu ozařovny. Je zřejmé, že mezi nejzávažnější rizika patří ohrožení života a zdraví osob na pracovišti (B-01), úraz el. proudem (B-02), zranění v důsledku kolize se stroji (B-04), uklouznutí (B-05), výskyt nepovolané osoby na pracovišti (B-07), špatná manipulace s ZIZ (B-11), neúměrné ozáření pacienta (B-12). Z hlediska bezpečnosti je důležité, aby byli pracovníci řádně poučeni o bezpečnosti a ochraně na pracovišti. Zároveň je nezbytně nutné, aby bylo pracoviště řádně označeno.

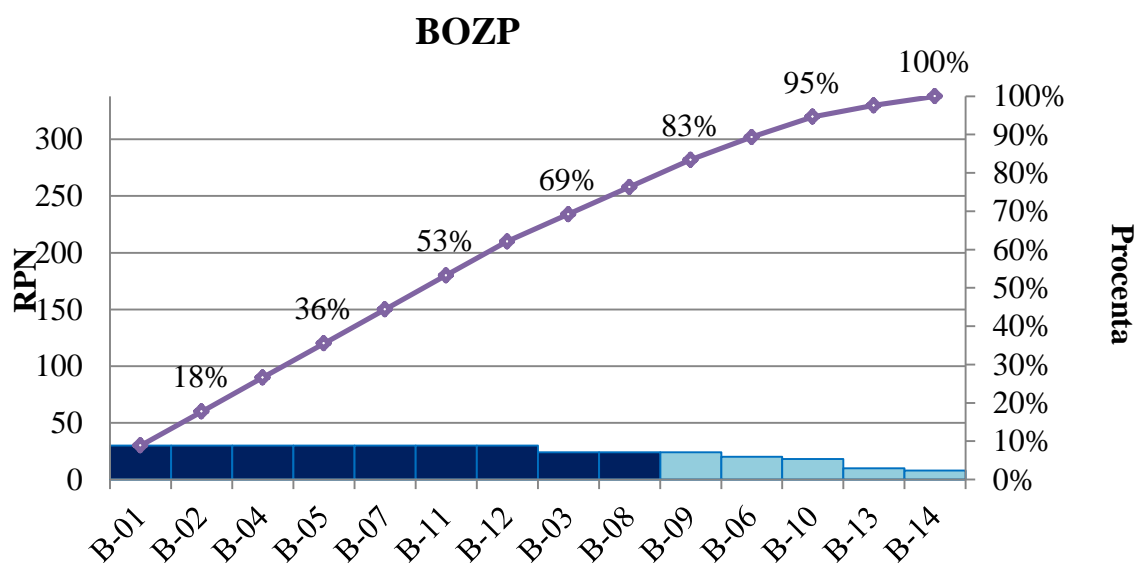


Diagram 7 - Paretův diagram pro návrh stínící konstrukce

## **5. ZÁVĚR A HODNOCENÍ**

Cílem diplomové práce byla analýza rizik při výstavbě stínících zařízení lékařských ozařovačů. Rizika měly být posouzeny z hlediska kvality, environmentu a bezpečnosti. Pro analýzu byl vybrán Ishikawa diagram. Tento diagram měl pouze naznačit, jaké mohou být zdroje rizika (např. stroje, lidé, technologie, atd.). Analýza slouží díky své přehlednosti jako “odrazový můstek” pro další postup. Pro analýzu v oblasti návrhu, realizace výstavby a bezpečnost na pracovišti tak byly diagram velmi přehledné a jasné.

Vzhledem k obecnému pojetí rizik v Ishikawa diagramu bylo nutné přistupovat k řízení rizik po jednotlivých oblastech. Analýza FMEA byla použita vzhledem ke své univerzálnosti a modifikovatelnosti. Rizika byly tedy rozděleny do čtyř kategorií: proces návrhu stínící konstrukce, samotná realizace výstavby, environmentální rizika spojená s výstavbou a samotná bezpečnost dělníků, personálu pohybujícího se v oblasti výstavby či právě rizika způsobená nekvalitní stavbou (nedostatečné stínění konstrukce, špatná manipulace se ZIZ). U analýzy FMEA bychom však mohli říci, že se jedná o velmi subjektivní hodnocení. Jde o individuální hodnocení jedince, jež by druhý expert hodnotil jinak. Výstupem analýzy byly eliminované hodnoty rizik, jež se vykreslily do Paretova diagramu. Tento diagram sloužil jako stanovení priority rizik při jejich eliminaci (pravidlo 80/20). Opět se dostáváme k hodnocení rizik jakožto celku. Je však vhodnější přistupovat ke každému riziku zvlášť.

Pokud bychom měli zhodnotit přehlednost výstupů z jednotlivých metod, je zřejmé, že pro člověka neznalého problematiky je nejpochoptitelnější Ishikawa diagram. Oproti tomu FMEA analýza a Paretův diagram jsou již nástroje více specifické vyžadující spíše oko experta.

I přes výše uvedené fakta však můžeme zhodnotit analýzu jako úspěšnou a vyhovující. Vyhodnocením analýz pro kvalitativní, environmentální a bezpečnostní rizika byla návrhy opatření, jež v oblasti kvality návrhu spočívají v důslednosti projektanta a kontrole výpočtu (totožný výpočet provede i jiný projektant). V oblasti kvality výstavby jsou spočívají opatření v dodržování provozních a manipulačních předpisů, pravidelný monitoring a odborný dozor. U environmentálních rizik je důležité dodržování provozních řádů, příslušných zákonů a souvisejících vyhlášek (např. nakládání s nebezpečným odpadem). V oblasti BOZP je nutné, aby byl každý dělník či osoba pohybující se v oblasti výstavby či následně v oblasti ozařovny nebo ozařovače zaškoleni na bezpečnost práce, nutnost ochranných

pomůcek, oděvu a dodržování stanovených předpisů a vyhlášek. Z lidského hlediska jde především také o opatrnost, obezřetnost a také důkladnost.

Pro mě, jakožto budoucího rizikového inženýra byla diplomová práce velmi přínosná. Především práce s jednotlivými zdroji, dohledávání a vstřebávání nových informací. Ráda bych se podobnou tematikou zabývala i ve svém profesním životě.

## **6. LITERATURA**

### **4.5. Publikace**

- [9] SINGER, J., HEŘMANSKÁ, J. *Principy radiační ochrany*. Č. Budějovice: Jihočeská univerzita v Č. Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2004. 111 s. ISBN 80-7040-708-5
- [10] ČVÚT, LOSINSKÁ, J. *XXVIII. Dny radiační ochrany, sborník rozšířených abstraktů*. Praha: ČVÚT, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření, 2006. ISBN 80-01-03575-1
- [11] HOBST, Leonard. *Optimalizace stavebních ochranných zdrojů ionizačních zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav radiační defektoskopie, listopad 1999.
- [13] ROZSYPAL, Alexandr. *Inženýrské stavby: řízení rizik*. 1. vyd. Bratislava: JAGA, 2008, 174 s.: il. (převážně barev.);. ISBN 978-80-8076-066-3.
- [14] TICHÝ, Milík. *Ovládání rizika: analýza a management*. Vyd. 1. Praha: C.H. Beck, 2006, xxvi, 396 s. Beckova edice ekonomie. ISBN 80-717-9415-5.
- [16] JANÍČEK, P. *Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky - hledání souvislostí*. 1. a 2. díl. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2007. 1234 str. ISBN 978-80-7204-554-9
- [27] HOBST, Leonard, Lubomír VÍTEK a Marie KOCICHOVÁ. *Návrhu stínících konstrukcí ozařovače v Masarykově onkologickém ústavu na Žlutém kopci v Brně*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústřední středisko radiační defektoskopie, 1994.

### **4.6. Zákony, vyhlášky a jiné předpisy**

- [3] SÚJB 2011: Platné právní předpisy [online]. Ministerstvo vnitra České republiky, 2011 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: [www.mvcr.cz/soubor/sujb-2011-pdf.aspx](http://www.mvcr.cz/soubor/sujb-2011-pdf.aspx)
- [19] ZÁKON č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření
- [26] Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění č. 499/2005 Sb.

#### **4.7.Normy**

- [4] ČSN ISO 31000 (01 0351) *Management rizik - Principy a směrnice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 37 s.: il., grafy.
- [17] ČSN EN 31010. *Management rizik-Techniky posuzování rizik*. Leden 2011.
- [23] ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů: Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. 02/2007.
- [4] ČSN EN ISO 9001: 2009 (01 0321) *Systémy managementu kvality - Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

#### **4.8.Internetové odkazy**

- [1] Wilhelm Conrad Röntgen. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Wilhelm\\_Conrad\\_R%C3%B6ntgen](http://cs.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Conrad_R%C3%B6ntgen)
- [2] PETÝRKOVÁ JANEČKOVÁ, Lenka (ed.). *Stav legislativy k 15. 2. 2015 ČESKÁ SPOLEČNOST FYZIKŮ V MEDICÍNĚ, o.s.* [online]. 2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.csfm.cz/atomovy-zakon.html>
- [5] FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana, Ing. Jiří HALAŠKA PH.D., Mgr. Renata HAVRÁNKOVÁ PH.D., MUDr. Jiří KUBEŠ PH.D., prof.MUDr. Leoš NAVRÁTIL CSC., Bc. Václav NAVRÁTIL, Doc. Ing. Jozef SABOL DR.SC., Bc. Ladislav SIROVÝ a doc. Dr. Friedo ZÖLZER PH.D. *Radiobiologie* [online]. 2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/43/431.html>
- [6] MATZNER, Jan. *Radiační ochrana - studijní texty: Katedra radiologie toxikologie a ochrany obyvatelstva, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích* [online]. 2011 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: [http://www.zsf.jcu.cz/cs/katedra/katedra-radiologie-toxikologie-a-ochrany-obyvatelstva/informace-katedry/informace-pro-studenty/ucebni\\_texty/studijni-obor-radiologicky-asistent/Radiacni-ochrana](http://www.zsf.jcu.cz/cs/katedra/katedra-radiologie-toxikologie-a-ochrany-obyvatelstva/informace-katedry/informace-pro-studenty/ucebni_texty/studijni-obor-radiologicky-asistent/Radiacni-ochrana)
- [7] © 2015 SÚRO. *Usměrňování lékařského ozáření* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/usmernovani-ozareni-pri-cinnostech/usmernovani-lekarskeho-ozareni>

- 
- [8] PETROVÁ, Karla. *Rizika únosná avšak nezanedbatelná* [online]. 2006 [2015-04-25]. Dostupné z: [https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rentgen\\_8\\_2006.pdf](https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni/rentgen_8_2006.pdf)
- [12] KOUDELKA, Ctirad a Václav VRÁNA. *RIZIKA A JEJICH ANALÝZA*. září 2006. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Magisterske%20nav/prednasky/web/RIZIKA.pdf>. VŠB – TU Ostrava.
- [15] ČERMÁK, Miroslav. *Řízení rizik: Jemný úvod do řízení rizik* [online]. 2010 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.cleverandsmart.cz/rizeni-rizik-jemny-uvod-do-rizeni-rizik/>
- [18] Metoda FMEA [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.komora-khk.cz/business/documents/?soubor=moduly/5-jakost/12-neustale-zlepsovani/12-2-fmea.pdf>
- [20] MANAŽERSKÝ INSTITUT - AKREDITOVANÉ STUDIUM MBA, S.R.O. *Rybi kost* [online]. 2015 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.manazerskyinstitut.cz/sluzby-a-reference/slovník-manazerskych-pojmu/strategicke-analyzy-a-strategie/rybi-kost/>
- [21] ČVUT,. *FMEA* [online]. [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: [http://oprلز.iss.fd.cvut.cz/dokumenty/080523\\_6.2.FMEA.pdf](http://oprلز.iss.fd.cvut.cz/dokumenty/080523_6.2.FMEA.pdf)
- [22] VLASTNICESTA, poradenský portál. *Paretova analýza* [online]. [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.vlastnicesta.cz/metody/pareto-analyza/>
- [24] STATSOFT ČR, s.r.o. *Statsoft: Paretova Analýza* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: [http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013\\_05\\_07\\_StatSoft\\_Paretuv\\_graf.pdf](http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013_05_07_StatSoft_Paretuv_graf.pdf)
- [25] LORENC, Miroslav. *Paretova analýza* [online]. 2013 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://lorenc.info/3MA381/graf-paretova-analyza.htm>



## 7. SEZNAMY

### 5.1. Seznam obrázků

Obrázek 1 Kobaltový ozařovač.....	11
Obrázek 2 Leksellův gama nůž.....	12
Obrázek 3 Schéma Cyklotronu .....	12
Obrázek 4 Schéma betatron .....	13
Obrázek 5 Schéma lineárního urychlovače .....	13
Obrázek 6 Automatický afterloadingový přístroj .....	14
Obrázek 7 Schéma rentgenky .....	14
Obrázek 8 Rentgenový přístroj .....	15
Obrázek 9 Skiagrafický snímek ramene .....	15
Obrázek 10 Skioskopické pracoviště .....	16
Obrázek 11 Kontrastní vyšetření tlustého střeva .....	16
Obrázek 12 Intraorální zubní rentgen .....	16
Obrázek 13 Panoramatický dentální rentgen .....	16
Obrázek 14 Pracoviště výpočetní tomografie .....	17
Obrázek 15 CT snímek břicha .....	17
Obrázek 16 Schéma scintigrafického procesu .....	19
Obrázek 17 Scintigrafie skeletu .....	19
Obrázek 18 SPECT .....	20
Obrázek 19 Pozitronová emisní tomografie .....	21
Obrázek 20 PET/CT .....	21
Obrázek 21 Proces managementu rizik .....	39
Obrázek 22 Vzor Ishikawa diagramu .....	44
Obrázek 23 Vzor Paretova diagramu .....	45

## 5.2. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Limity ozáření .....	23
Tabulka 2 - Hodnocení pravděpodobnosti výskytu daného rizika .....	52
Tabulka 3 - Hodnocení významu - závažnosti .....	52
Tabulka 4 - Hodnocení pravděpodobnosti odhalení .....	53
Tabulka 5 - Analýza FMEA pro návrh a výstavbu (kvalitativní oblast) .....	55
Tabulka 6 - Analýza FMEA pro environment a bezpečnost .....	56

## 5.3. Seznam diagramů

Diagram 1 - Analýza typu Rybí kost pro návrh stínící konstrukce .....	49
Diagram 2 - Analýza typu rybí kost pro realizaci výstavby stínící konstrukce .....	50
Diagram 3 - Analýza typu rybí kost pro oblast BOZP .....	51
Diagram 4 - Paretův diagram pro návrh stínící konstrukce .....	57
Diagram 5 - Paretův diagram pro výstavbu stínící konstrukce .....	58
Diagram 6 - Paretův diagram pro návrh stínící konstrukce .....	59
Diagram 7 - Paretův diagram pro návrh stínící konstrukce .....	59

## 5.4. Seznam zkratk

AZ	-	Zákon č. 18/1997 Sb., Atomový zákon ve znění pozdějších předpisů
IZ	-	ionizující záření
KP	-	kontrolované pásmo
PZ	-	přejímací zkouška
RDG	-	radiodiagnostický
RO	-	radiační ochrana
RTG	-	rentgenový
SJ	-	systém jakosti
SP	-	sledované pásmo

SÚJB -	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
ZDS -	zkouška dlouhodobé stability
ZIZ -	zdroj ionizujícího záření
ZPS -	zkouška provozní stálosti